

ZUSAMMENFASSUNG
DER RÖNTGENDIAGNOSTIK DES
HANDGELENKS MIT VORSTELLUNG
EINER EIGENEN STANDARDISIERTEN
FUNKTIONSDIAGNOSTIK
DES HANDGELENKS

Axel Stäbler

*Less
München
1905*



Digitized by the Internet Archive
in 2026

AUS DER RÖNTGENABTEILUNG (LEITUNG: PROF.DR.MED.K.J.PFEIFER)
DER CHIRURGISCHEN KLINIK INNENSTADT DER UNIVERSITÄT MÜNCHEN
(LEITUNG: PROF.DR.MED.L.SCHWEIBERER)

ZUSAMMENFASSUNG DER RÖNTGENDIAGNOSTIK DES HANDGELENKS
MIT VORSTELLUNG EINER EIGENEN
STANDARDISIERTEN FUNKTIONSDIAGNOSTIK DES HANDGELENKS

INAUGURAL-DISSERTATION
ZUR ERLANGUNG DER DOKTORWÜRDE IN DER GESAMTEN MEDIZIN
AN DER LUDWIG MAXIMILIANS-UNIVERSITÄT ZU MÜNCHEN

VORGELEGT VON
AXEL STÄBLER
AUS
MÜNCHEN

MÜNCHEN 1985

Mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät
der Universität München

Berichterstatter Prof.Dr.med.K.J.Pfeifer

Mitberichterstatter Prof.Dr.med.J.Lissner

Dekan Prof.Dr.med.W.Spann

Tag der mündlichen Prüfung: 07.11.1985

Table of Contents

1	Introduction	1
2	Chapter 1: The History of the Book	2
3	Chapter 2: The Book's Structure	3
4	Chapter 3: The Book's Content	4
5	Chapter 4: The Book's Style	5
6	Chapter 5: The Book's Impact	6
7	Chapter 6: The Book's Legacy	7
8	Chapter 7: The Book's Future	8
9	Chapter 8: The Book's Conclusion	9
10	Chapter 9: The Book's Appendix	10
11	Chapter 10: The Book's Bibliography	11
12	Chapter 11: The Book's Index	12
13	Chapter 12: The Book's Glossary	13
14	Chapter 13: The Book's Notes	14
15	Chapter 14: The Book's References	15
16	Chapter 15: The Book's Acknowledgments	16
17	Chapter 16: The Book's Dedication	17
18	Chapter 17: The Book's Epilogue	18
19	Chapter 18: The Book's Postscript	19
20	Chapter 19: The Book's Foreword	20
21	Chapter 20: The Book's Preface	21
22	Chapter 21: The Book's Introduction	22
23	Chapter 22: The Book's Conclusion	23
24	Chapter 23: The Book's Appendix	24
25	Chapter 24: The Book's Bibliography	25
26	Chapter 25: The Book's Index	26
27	Chapter 26: The Book's Glossary	27
28	Chapter 27: The Book's Notes	28
29	Chapter 28: The Book's References	29
30	Chapter 29: The Book's Acknowledgments	30
31	Chapter 30: The Book's Dedication	31
32	Chapter 31: The Book's Epilogue	32
33	Chapter 32: The Book's Postscript	33
34	Chapter 33: The Book's Foreword	34
35	Chapter 34: The Book's Preface	35
36	Chapter 35: The Book's Introduction	36
37	Chapter 36: The Book's Conclusion	37
38	Chapter 37: The Book's Appendix	38
39	Chapter 38: The Book's Bibliography	39
40	Chapter 39: The Book's Index	40
41	Chapter 40: The Book's Glossary	41
42	Chapter 41: The Book's Notes	42
43	Chapter 42: The Book's References	43
44	Chapter 43: The Book's Acknowledgments	44
45	Chapter 44: The Book's Dedication	45
46	Chapter 45: The Book's Epilogue	46
47	Chapter 46: The Book's Postscript	47
48	Chapter 47: The Book's Foreword	48
49	Chapter 48: The Book's Preface	49
50	Chapter 49: The Book's Introduction	50
51	Chapter 50: The Book's Conclusion	51
52	Chapter 51: The Book's Appendix	52
53	Chapter 52: The Book's Bibliography	53
54	Chapter 53: The Book's Index	54
55	Chapter 54: The Book's Glossary	55
56	Chapter 55: The Book's Notes	56
57	Chapter 56: The Book's References	57
58	Chapter 57: The Book's Acknowledgments	58
59	Chapter 58: The Book's Dedication	59
60	Chapter 59: The Book's Epilogue	60
61	Chapter 60: The Book's Postscript	61
62	Chapter 61: The Book's Foreword	62
63	Chapter 62: The Book's Preface	63
64	Chapter 63: The Book's Introduction	64
65	Chapter 64: The Book's Conclusion	65
66	Chapter 65: The Book's Appendix	66
67	Chapter 66: The Book's Bibliography	67
68	Chapter 67: The Book's Index	68
69	Chapter 68: The Book's Glossary	69
70	Chapter 69: The Book's Notes	70
71	Chapter 70: The Book's References	71
72	Chapter 71: The Book's Acknowledgments	72
73	Chapter 72: The Book's Dedication	73
74	Chapter 73: The Book's Epilogue	74
75	Chapter 74: The Book's Postscript	75
76	Chapter 75: The Book's Foreword	76
77	Chapter 76: The Book's Preface	77
78	Chapter 77: The Book's Introduction	78
79	Chapter 78: The Book's Conclusion	79
80	Chapter 79: The Book's Appendix	80
81	Chapter 80: The Book's Bibliography	81
82	Chapter 81: The Book's Index	82
83	Chapter 82: The Book's Glossary	83
84	Chapter 83: The Book's Notes	84
85	Chapter 84: The Book's References	85
86	Chapter 85: The Book's Acknowledgments	86
87	Chapter 86: The Book's Dedication	87
88	Chapter 87: The Book's Epilogue	88
89	Chapter 88: The Book's Postscript	89
90	Chapter 89: The Book's Foreword	90
91	Chapter 90: The Book's Preface	91
92	Chapter 91: The Book's Introduction	92
93	Chapter 92: The Book's Conclusion	93
94	Chapter 93: The Book's Appendix	94
95	Chapter 94: The Book's Bibliography	95
96	Chapter 95: The Book's Index	96
97	Chapter 96: The Book's Glossary	97
98	Chapter 97: The Book's Notes	98
99	Chapter 98: The Book's References	99
100	Chapter 99: The Book's Acknowledgments	100
101	Chapter 100: The Book's Dedication	101
102	Chapter 101: The Book's Epilogue	102
103	Chapter 102: The Book's Postscript	103
104	Chapter 103: The Book's Foreword	104
105	Chapter 104: The Book's Preface	105
106	Chapter 105: The Book's Introduction	106
107	Chapter 106: The Book's Conclusion	107
108	Chapter 107: The Book's Appendix	108
109	Chapter 108: The Book's Bibliography	109
110	Chapter 109: The Book's Index	110
111	Chapter 110: The Book's Glossary	111
112	Chapter 111: The Book's Notes	112
113	Chapter 112: The Book's References	113
114	Chapter 113: The Book's Acknowledgments	114
115	Chapter 114: The Book's Dedication	115
116	Chapter 115: The Book's Epilogue	116
117	Chapter 116: The Book's Postscript	117
118	Chapter 117: The Book's Foreword	118
119	Chapter 118: The Book's Preface	119
120	Chapter 119: The Book's Introduction	120
121	Chapter 120: The Book's Conclusion	121
122	Chapter 121: The Book's Appendix	122
123	Chapter 122: The Book's Bibliography	123
124	Chapter 123: The Book's Index	124
125	Chapter 124: The Book's Glossary	125
126	Chapter 125: The Book's Notes	126
127	Chapter 126: The Book's References	127
128	Chapter 127: The Book's Acknowledgments	128
129	Chapter 128: The Book's Dedication	129
130	Chapter 129: The Book's Epilogue	130
131	Chapter 130: The Book's Postscript	131
132	Chapter 131: The Book's Foreword	132
133	Chapter 132: The Book's Preface	133
134	Chapter 133: The Book's Introduction	134
135	Chapter 134: The Book's Conclusion	135
136	Chapter 135: The Book's Appendix	136
137	Chapter 136: The Book's Bibliography	137
138	Chapter 137: The Book's Index	138
139	Chapter 138: The Book's Glossary	139
140	Chapter 139: The Book's Notes	140
141	Chapter 140: The Book's References	141
142	Chapter 141: The Book's Acknowledgments	142
143	Chapter 142: The Book's Dedication	143
144	Chapter 143: The Book's Epilogue	144
145	Chapter 144: The Book's Postscript	145
146	Chapter 145: The Book's Foreword	146
147	Chapter 146: The Book's Preface	147
148	Chapter 147: The Book's Introduction	148
149	Chapter 148: The Book's Conclusion	149
150	Chapter 149: The Book's Appendix	150
151	Chapter 150: The Book's Bibliography	151
152	Chapter 151: The Book's Index	152
153	Chapter 152: The Book's Glossary	153
154	Chapter 153: The Book's Notes	154
155	Chapter 154: The Book's References	155
156	Chapter 155: The Book's Acknowledgments	156
157	Chapter 156: The Book's Dedication	157
158	Chapter 157: The Book's Epilogue	158
159	Chapter 158: The Book's Postscript	159
160	Chapter 159: The Book's Foreword	160
161	Chapter 160: The Book's Preface	161
162	Chapter 161: The Book's Introduction	162
163	Chapter 162: The Book's Conclusion	163
164	Chapter 163: The Book's Appendix	164
165	Chapter 164: The Book's Bibliography	165
166	Chapter 165: The Book's Index	166
167	Chapter 166: The Book's Glossary	167
168	Chapter 167: The Book's Notes	168
169	Chapter 168: The Book's References	169
170	Chapter 169: The Book's Acknowledgments	170
171	Chapter 170: The Book's Dedication	171
172	Chapter 171: The Book's Epilogue	172
173	Chapter 172: The Book's Postscript	173
174	Chapter 173: The Book's Foreword	174
175	Chapter 174: The Book's Preface	175
176	Chapter 175: The Book's Introduction	176
177	Chapter 176: The Book's Conclusion	177
178	Chapter 177: The Book's Appendix	178
179	Chapter 178: The Book's Bibliography	179
180	Chapter 179: The Book's Index	180
181	Chapter 180: The Book's Glossary	181
182	Chapter 181: The Book's Notes	182
183	Chapter 182: The Book's References	183
184	Chapter 183: The Book's Acknowledgments	184
185	Chapter 184: The Book's Dedication	185
186	Chapter 185: The Book's Epilogue	186
187	Chapter 186: The Book's Postscript	187
188	Chapter 187: The Book's Foreword	188
189	Chapter 188: The Book's Preface	189
190	Chapter 189: The Book's Introduction	190
191	Chapter 190: The Book's Conclusion	191
192	Chapter 191: The Book's Appendix	192
193	Chapter 192: The Book's Bibliography	193
194	Chapter 193: The Book's Index	194
195	Chapter 194: The Book's Glossary	195
196	Chapter 195: The Book's Notes	196
197	Chapter 196: The Book's References	197
198	Chapter 197: The Book's Acknowledgments	198
199	Chapter 198: The Book's Dedication	199
200	Chapter 199: The Book's Epilogue	200
201	Chapter 200: The Book's Postscript	201
202	Chapter 201: The Book's Foreword	202
203	Chapter 202: The Book's Preface	203
204	Chapter 203: The Book's Introduction	204
205	Chapter 204: The Book's Conclusion	205
206	Chapter 205: The Book's Appendix	206
207	Chapter 206: The Book's Bibliography	207
208	Chapter 207: The Book's Index	208
209	Chapter 208: The Book's Glossary	209
210	Chapter 209: The Book's Notes	210
211	Chapter 210: The Book's References	211
212	Chapter 211: The Book's Acknowledgments	212
213	Chapter 212: The Book's Dedication	213
214	Chapter 213: The Book's Epilogue	214
215	Chapter 214: The Book's Postscript	215
216	Chapter 215: The Book's Foreword	216
217	Chapter 216: The Book's Preface	217
218	Chapter 217: The Book's Introduction	218
219	Chapter 218: The Book's Conclusion	219
220	Chapter 219: The Book's Appendix	220
221	Chapter 220: The Book's Bibliography	221
222	Chapter 221: The Book's Index	222
223	Chapter 222: The Book's Glossary	223
224	Chapter 223: The Book's Notes	224
225	Chapter 224: The Book's References	225
226	Chapter 225: The Book's Acknowledgments	226
227	Chapter 226: The Book's Dedication	227
228	Chapter 227: The Book's Epilogue	228
229	Chapter 228: The Book's Postscript	229
230	Chapter 229: The Book's Foreword	230
231	Chapter 230: The Book's Preface	231
232	Chapter 231: The Book's Introduction	232
233	Chapter 232: The Book's Conclusion	233
234	Chapter 233: The Book's Appendix	234
235	Chapter 234: The Book's Bibliography	235
236	Chapter 235: The Book's Index	236
237	Chapter 236: The Book's Glossary	237
238	Chapter 237: The Book's Notes	238
239	Chapter 238: The Book's References	239
240	Chapter 239: The Book's Acknowledgments	240
241	Chapter 240: The Book's Dedication	241
242	Chapter 241: The Book's Epilogue	242
243	Chapter 242: The Book's Postscript	243
244	Chapter 243: The Book's Foreword	244
245	Chapter 244: The Book's Preface	245
246	Chapter 245: The Book's Introduction	246
247	Chapter 246: The Book's Conclusion	247
248	Chapter 247: The Book's Appendix	248
249	Chapter 248: The Book's Bibliography	249
250	Chapter 249: The Book's Index	250
251	Chapter 250: The Book's Glossary	251
252	Chapter 251: The Book's Notes	252
253	Chapter 252: The Book's References	253
254	Chapter 253: The Book's Acknowledgments	254
255	Chapter 254: The Book's Dedication	255
256	Chapter 255: The Book's Epilogue	256
257	Chapter 256: The Book's Postscript	257
258	Chapter 257: The Book's Foreword	258
259	Chapter 258: The Book's Preface	259
260	Chapter 259: The Book's Introduction	260
261	Chapter 260: The Book's Conclusion	261
262	Chapter 261: The Book's Appendix	262
263	Chapter 262: The Book's Bibliography	263
264	Chapter 263: The Book's Index	264
265	Chapter 264: The Book's Glossary	265
266	Chapter 265: The Book's Notes	266
267	Chapter 266: The Book's References	267
268	Chapter 267: The Book's Acknowledgments	268
269	Chapter 268: The Book's Dedication	269
270	Chapter 269: The Book's Epilogue	270
271	Chapter 270: The Book's Postscript	271
272	Chapter 271: The Book's Foreword	272
273	Chapter 272: The Book's Preface	273
274	Chapter 273: The Book's Introduction	274
275	Chapter 274: The Book's Conclusion	275
276	Chapter 275: The Book's Appendix	276
277	Chapter 276: The Book's Bibliography	277
278	Chapter 277: The Book's Index	278
279	Chapter 278: The Book's Glossary	279
280	Chapter 279: The Book's Notes	280
281	Chapter 280: The Book's References	281
282	Chapter 281: The Book's Acknowledgments	282
283	Chapter 282: The Book's Dedication	283
284	Chapter 283: The Book's Epilogue	284
285	Chapter 284: The Book's Postscript	285
286	Chapter 285: The Book's Foreword	286
287	Chapter 286: The Book's Preface	287
288	Chapter 287: The Book's Introduction	288
289	Chapter 288: The Book's Conclusion	289
290	Chapter 289: The Book's Appendix	290
291	Chapter 290: The Book's Bibliography	291
292	Chapter 291: The Book's Index	292
293	Chapter 292: The Book's Glossary	293
294	Chapter 293: The Book's Notes	294
295	Chapter 294: The Book's References	295
296	Chapter 295: The Book's Acknowledgments	296
297	Chapter 296: The Book's Dedication	297
298	Chapter 297: The Book's Epilogue	298
299	Chapter 298: The Book's Postscript	299
300	Chapter 299: The Book's Foreword	300
301	Chapter 300: The Book's Preface	301
302	Chapter 301: The Book's Introduction	302
303	Chapter 302: The Book's Conclusion	303
304	Chapter 303: The Book's Appendix	304
305	Chapter 304: The Book's Bibliography	305
306	Chapter 305: The Book's Index	306
307	Chapter 306: The Book's Glossary	307
308	Chapter 307: The Book's Notes	308
309	Chapter 308: The Book's References	309
310	Chapter 309: The Book's Acknowledgments	310
311	Chapter 310: The Book's Dedication	311
312	Chapter 311: The Book's Epilogue	312
313	Chapter 312: The Book's Postscript	313
314	Chapter 313: The Book's Foreword	314
315	Chapter 314: The Book's Preface	315
316	Chapter 315: The Book's Introduction	316
317	Chapter 316: The Book's Conclusion	317
318	Chapter 317: The Book's Appendix	318
319	Chapter 318: The Book's Bibliography	319
320	Chapter 319: The Book's Index	320
321	Chapter 320: The Book's Glossary	321
322	Chapter 321: The Book's Notes	322
323	Chapter 322: The Book's References	323
324	Chapter 323: The Book's Acknowledgments	324
325	Chapter 324: The Book's Dedication	325
326	Chapter 325: The Book's Epilogue	326
327	Chapter 326: The Book's Postscript	327
328	Chapter 327: The Book's Foreword	328
329	Chapter 328: The Book's Preface	329
330	Chapter 329: The Book's Introduction	330
331	Chapter 330: The Book's Conclusion	331
332	Chapter 331: The Book's Appendix	332
333	Chapter 332: The Book's Bibliography	333
334	Chapter 333: The Book's Index	334
335	Chapter 334: The Book's Glossary	335
336	Chapter 335: The Book's Notes	336
337	Chapter 336: The Book's References	337
338	Chapter 337: The Book's Acknowledgments	338
339	Chapter 338: The Book's Dedication	339
340	Chapter 339: The Book's Epilogue	340
341	Chapter 340: The Book's Postscript	341
342	Chapter 341: The Book's Foreword	342
343	Chapter 342: The Book's Preface	343
344	Chapter 343: The Book's Introduction	344
345	Chapter 344: The Book's Conclusion	345
346	Chapter 345: The Book's Appendix	346
347	Chapter 346: The Book's Bibliography	347
348	Chapter 347: The Book's Index	348
349	Chapter 348: The Book's Glossary	349
350	Chapter 349: The Book's Notes	350
351	Chapter 350: The Book's References	351
352	Chapter 351: The Book's Acknowledgments	352
353	Chapter 352: The Book's Dedication	353
354	Chapter 353: The Book's Epilogue	354
355	Chapter 354: The Book's Postscript	355

Inhaltsverzeichnis:

1.	Einleitung.....	1
2.	<u>Funktionelle und topographische Anatomie der Knochen und Bänder des Handgelenks.....</u>	4
2.1.	Funktionelle Zusammenhänge.....	4
2.2.	Bandstrukturen des Handgelenks.....	7
2.3.	Spezielle Anatomie.....	15
3.	<u>Technische und methodische Möglichkeiten zur Verbesserung der Detailerkennbarkeit und Erweiterung der diagnostischen Information.....</u>	22
3.1.	Verstärkerfolie, Filme.....	22
3.2.	Aufnahmeverfahren.....	23
3.2.1.	Vergrößerungsaufnahme mit Feinfocusröhre.....	23
3.2.2.	Tomographie.....	25
3.2.3.	Xeroradiographie.....	28
3.2.4.	Methode zur Funktionsdiagnostik des Handgelenks mit Hilfe gehaltener Aufnahmen.....	30
3.2.5.	Methode der Frakturdiagnostik durch gehaltene Aufnahmen.....	36
3.2.6.	Methode zur Anfertigung einer Carpaltunnelaufnahme.....	37
3.3.	Strahlenbelastung und Wirtschaftlichkeit.....	39
3.3.1.	Untersuchung der Strahlenbelastung für verschiedene Verfahrensorten.....	39
3.3.2.	Ökonomische Gesichtspunkte verschiedener Verfahren.....	41
4.	<u>Projektionsverfahren zur vollständigeren Darstellung der Knochen des Handgelenks.....</u>	42
4.1.	Os scaphoideum.....	45
4.2.	Os triquetrum.....	53
4.3.	Os trapezium.....	56

4.4.	Os hamatum.....	62
4.5.	Os pisiforme.....	65
4.6.	Os lunatum.....	69
4.7.	Os capitatum.....	70
4.8.	Os trapezoideum.....	73
5.	<u>Komplexe Luxationsverletzungen und deren Kombinationen mit Begleitfrakturen.....</u>	74
5.1.	Dorsale perilunäre, volare Os lunatum Luxation.....	76
5.2.	Transscaphoidale perilunäre Luxationsfraktur (De Quervain)....	79
5.3.	Volare perilunäre, dorsale Os lunatum Luxation.....	82
5.4.	Scphoid-Capitatum-Fraktur-Syndrom.....	82
5.5.	Kombinationen mit möglichen Frakturen.....	83
6.	<u>Instabilitäten.....</u>	85
6.1.	Rotationssubluxation des Os scaphoideum.....	88
6.2.	Scaphoid-Trapezium-Trapeziodeum-Dissoziation (STTD).....	92
6.3.	Scaphoid-Capitatum-Dissoziation (SCD).....	93
6.4.	Zentrale dorsale Instabilität (ZDI).....	94
6.5.	Zentrale volare Instabilität (ZVI).....	96
6.6.	Proximale Instabilität:.....	98
	Ulnare Translokation.....	99
	Dorsale Subluxation des Carpus.....	100
	Palmare Subluxation des Carpus.....	100
7.	<u>Luxationen einzelner Handwurzelknochen.....</u>	102
7.1.	Os scaphoideum - radialwärts.....	102
	- radiodorsalwärts	
	- palmarwärts	
7.2.	Os lunatum - dorsalwärts.....	102
	- palmarwärts	
7.3.	Os trapezium.....	102

7.4.	Os trapezoideum.....	103
7.5.	Os pisiforme.....	103
7.6.	Os capitatum.....	104
7.7.	Os hamatum.....	104
7.8.	Os triquetrum.....	105
8.	<u>Lunatummalazie</u> (M. Kienböck) und andere aseptische Knochen- nekrosen des Handgelenks.....	106
8.1.	Lunatummalazie.....	106
8.2.	Aseptische Knochennekrosen anderer Carpalia.....	111
9.	<u>Diskussion</u>	112
	Aufgaben der Röntgendiagnostik.....	112
	Bandstrukturen.....	114
	Technik.....	115
	Verletzungen.....	118
	Procedere in der Röntgendiagnostik des Handgelenks.....	121

Zusammenfassung

Literaturverzeichnis

1. Einleitung

Eine Verletzung des Handgelenkes, nicht bzw. nicht frühzeitig genug diagnostiziert oder fälschlich als Distorsion bezeichnet, kann für den Betroffenen zu erheblichen Funktionsbeeinträchtigungen seiner Hand führen. Schmerz, Schwellung und Funktionseinbußen durch verminderte Griffstärke oder Instabilität bei Belastung sind Resultate ungenügender Diagnostik. Während viele Verletzungen charakteristische klinische Symptome und definierte physikalische Untersuchungsbefunde zeigen, kann der Arzt bei Handgelenksverletzungen auf die Röntgendiagnostik in der Regel nicht verzichten. Gerade aber Verletzungen der Handwurzel bereiten diagnostische Schwierigkeiten und erfordern oft subtile und neue röntgenologische Untersuchungsmethoden. Nur so läßt sich frühzeitig die Diagnose stellen. Sie ist die Voraussetzung für eine adäquate Therapie und guten Behandlungserfolg.

Das Handwurzelgelenk in seiner funktionellen Einheit mit Radius und Ulna ist das komplexeste Gelenk des menschlichen Körpers (84). Nur durch diese aufwendige Konstruktion ist es möglich, daß das Handgelenk die von ihm geforderten Leistungen erbringen kann. Es soll einerseits durch maximalen Bewegungsumfang der Hand eine größtmögliche Freiheit und damit Nützlichkeit verschaffen, andererseits muß es durch die Möglichkeit der festen Arretierung den Kraftschluß zwischen Hand und Arm in jeder Position garantieren; denn erst dadurch wird die Hand gebrauchsfähig.

Ziel der Röntgendiagnostik muß es sein, ein Maximum an Information mit einem Minimum an Strahlenbelastung und Aufwand zu erreichen. Allerdings werden auf den Wegen zu einem diagnostischen Optimum auch ökonomische Gesichtspunkte in zunehmendem Maße zu berücksichtigen sein.

Am Anfang dieser Arbeit stand die Unzufriedenheit, daß bei Handgelenksverletzungen oft eine klare Diagnose nicht gestellt werden kann, obwohl man auf Grund der Klinik, die der Patient bietet, davon überzeugt ist, daß eine Verletzung mit morphologischen Veränderungen eingetreten ist. Nur daß man diese Verletzung röntgenologisch nicht nachweisen kann.

In diesem Fall kann eine nicht dislozierte Fraktur vorliegen, die nicht erkannt wird, da die verwendete Röntgentechnik bzw. das Filmmaterial den feinen Bruchspalt nicht auflösen kann oder die Fraktur durch die angefertigten Röntgenprojektionen nicht dargestellt ist. Zu einem hier nötigen Mehr an Information kann man in der Röntgendiagnostik grundsätzlich zwei (miteinander kombinierbare) Wege beschreiten: Man kann zum einen sich unterschiedlicher technischer Mittel bedienen (andere Film-Folien-Kombinationen, andere Aufnahmetechniken). Zum anderen ist es aber auch durch zusätzliche Projektionen, also die Anfertigung von Zielaufnahmen eines speziellen Gebietes, möglich, z.B. einen einzelnen Knochen des Handgelenkes umfassender darzustellen.

Um die diagnostischen Möglichkeiten voll ausschöpfen zu können, muß der Radiologe informiert sein über mögliche Frakturen, ihre Häufigkeit sowie ihre Nachweismöglichkeiten, also über die Spezialprojektionen für die verschiedenen Bereiche der Handwurzel. Ebenso muß er wissen, wie leistungsfähig die von ihm verwendete Methode ist.

Wir haben deshalb zu Beginn unserer Arbeit die Röntgenbefunde der Jahre 1978-81 durchgesehen und eine Statistik über die Häufigkeit der Frakturen der Handwurzelknochen erstellt. Weiterhin haben wir die verschiedenen technischen Mittel untersucht. Hierzu gehören die unterschiedlichen Filme (SE, Folienlos, Medichrome) wie auch die verschiedenen Aufnahmetechniken (Vergrößerungsaufnahme mit Feinstfocusröhre, Tomographie, Xerographie). Dabei haben wir nicht nur die Leistungsfähigkeit der jeweiligen Methode untersucht, sondern auch die Gesichtspunkte der Strahlenbelastung und Wirtschaftlichkeit gegeneinandergestellt.

Ebenso wie an anderen Gelenken kann eine Verletzung des Handgelenkes den Kapselbandapparat betreffen. Weitere diagnostische Schritte sind daher nach dem Frakturausschluß erforderlich, gemeint ist die Prüfung des Kapsel-Bandapparates. Ich habe hierzu den von Dr. Mayer entwickelten Halteapparat benutzt. Dadurch war es möglich, gehaltene Aufnahmen

vom Handgelenk anzufertigen. Um solche Aufnahmen hinsichtlich einer pathologischen Aufklappbarkeit beurteilen zu können, ist eine detaillierte Kenntnis der Bandstrukturen am Handgelenk erforderlich. Leider herrscht noch keine Einhelligkeit über Verlauf und Nomenklatur der Bandstrukturen. Wir haben in Zusammenarbeit mit dem Anatomischen Institut eigene Präparate dieser Bänder erstellt.

Einige Verletzungen des Bandapparates am Handgelenk sind bereits in den Standardprojektionen (p-a und seitlich) auf Grund einer Luxations- bzw. Subluxationsstellung von Handwurzelknochen erkennbar. Diese komplexen Luxationsverletzungen und Instabilitäten sind im Folgenden systematisch zusammengestellt.

2. Funktionelle und topographische Anatomie der Knochen und Bänder des Handgelenkes

2.1. Funktionelle Zusammenhänge

Zum Handgelenk rechnen wir alle Artikulationen, an denen die acht Handwurzelknochen Os scaphoideum, Os lunatum, Os triquetrum, Os pisiforme, Os trapezium, Os trapezoideum, Os capitatum und Os hamatum beteiligt sind.

Das Handgelenk wird somit neben den acht Handwurzelknochen auch von Radius und Ulna, sowie den fünf Metacarpalknochen gebildet. Die ligamentäre Verbindung der Ossa metacarpalia II-V mit den entsprechenden Handwurzelknochen ist so straff, daß die Beweglichkeit dieser

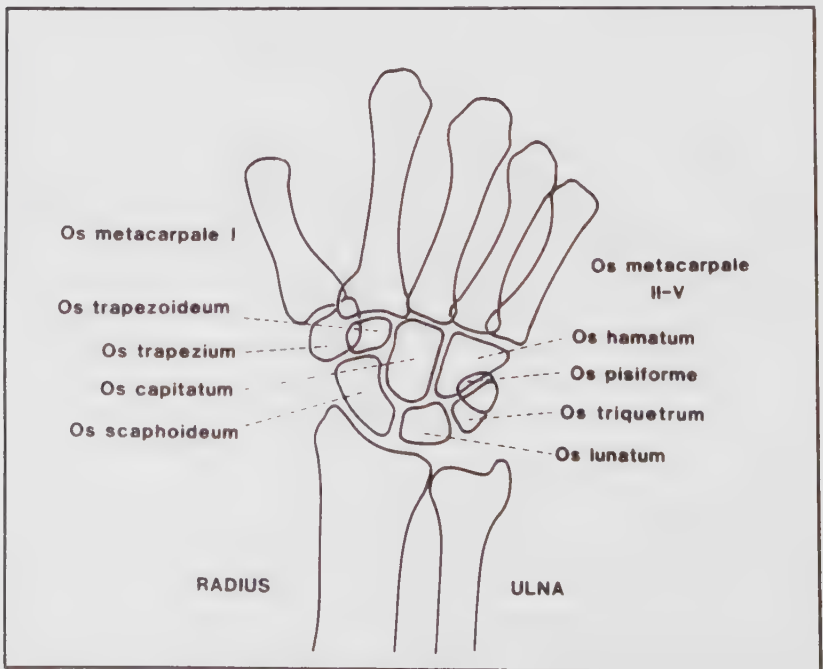


Abb. 1 Das Handwurzelskelett

Carpometacarpalgelenke minimal ist und sich praktisch auf die Knorpel- und Bandelastizität beschränkt (6, 134). Im Gegensatz hierzu verfügt das Daumensattelgelenk zwischen Os trapezium und Os metacarpale I über die größte Beweglichkeit aller Handwurzelgelenke. Funktionell gehört das Daumensattelgelenk aber schon mehr zum Daumen als zum Handgelenk.

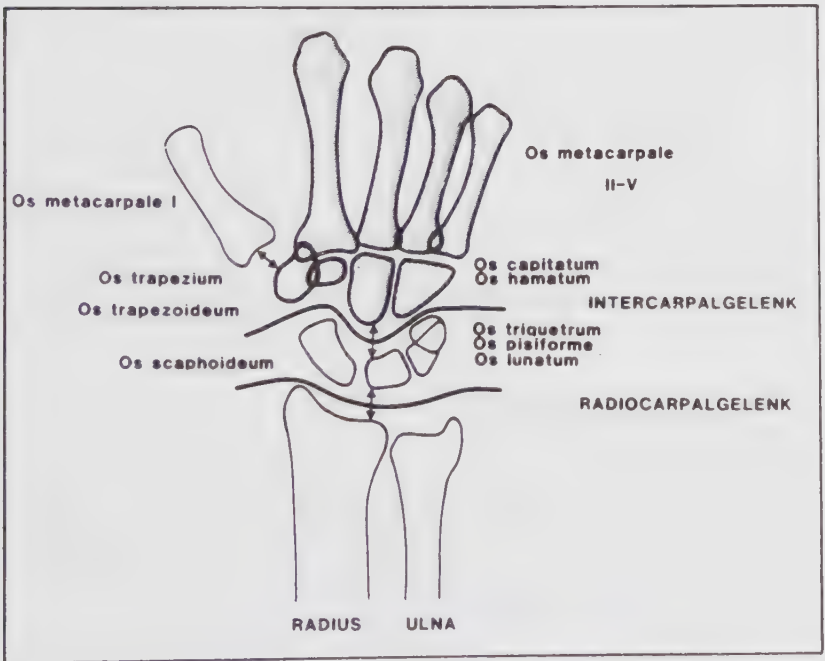


Abb. 2 Das Handgelenk und seine funktionellen Einheiten:

Die Pfeile markieren die Gelenklinien der funktionellen Einheiten. Die entsprechenden Gelenkspalten sind zur Veranschaulichung erweitert.

Im Handgelenk ist die Bewegung um jede der drei Achsen des Raumes möglich: Flexion-Extension, Radial-Ulnarabduktion und intracarpale Pronation und Supination. Betrachtet man das Handgelenk bei seinen Bewegungen, kann man drei funktionelle Einheiten beschreiben (vgl. Abb. 2):

Proximal befinden sich Radius und Ulna als "Aufhängeplattform", distal der gesamte Komplex der Hand mit den vier distalen Handwurzelknochen Os trapezium, Os trapezoideum, Os capitatum und Os hamatum. Diese vier Knochen sind untereinander ebenso fest verbunden, wie sie es mit den Metacarpalknochen II-V sind (Amphiarthrosen) und sind dadurch im Grunde eine Verlängerung der Hand in das Handgelenk. Zwischen diesem Zapfen und der Plattform von Radius und Ulna balancieren Os scaphoideum, Os lunatum und Os triquetrum. Diese funktionelle Einheit bezeichnet man auch als zwischengeschaltetes Segment (68). Funktionell wie anatomisch bilden somit die Handwurzelknochen zwei Reihen: Eine proximale, bestehend aus Os scaphoideum, Os lunatum und Os triquetrum, und eine distale, die von Os trapezium, Os trapezoideum, Os capitatum und Os hamatum gebildet wird. Die Gelenklinie zwischen beiden Reihen wird Intercarpalgelenk genannt.

Bewegungsumfang im Handgelenk

Die funktionellen Einheiten des Handgelenkes sind in unterschiedlichem Maß an den Bewegungen im Handgelenk beteiligt. So wurde bis jetzt die Flexion in erster Linie dem Intercarpalgelenk zugeschrieben (112, 133). Extension sowie Radial- und Ulnarabduktion sollten vorwiegend im Radiocarpalgelenk geschehen.

Wir haben in Anlehnung an den Vorschlag von Gilula (51) Achsen der einzelnen Carpalknochen festgelegt (s. Kapitel 6) und mit dieser Methode den Bewegungsumfang der einzelnen Segmente objektiviert. Als Neutral-Null-Stellung haben wir definiert: Sowohl in der p-a, als auch in der seitlichen Projektion sollen Radius und Os metacarpale III colinear stehen.

Unter diesen Voraussetzungen beträgt der durchschnittliche Bewegungsumfang eines gesunden Handgelenkes:

(Die Ergebnisse sind durch Messungen an 12 gesunden Probanden erhoben worden. Für die Überlassung dieser genauen Angaben danke ich M. Dorfmeister (150))

Ulnarabduktion : 39,75°

Radialabduktion : 23,17°

	R-C ✕	R-L ✕	L-C ✕
Palmarflexion	: 79,92°	30,17°	49,75°
Dorsalextension	: 85,67°	30,83°	54,83°

Aus diesen Zahlen ist ersichtlich, daß der größere Anteil der Bewegung bei einer Volarflexion und Dorsalextension im Intercarpalgelenk stattfindet. Umgekehrt bei der Radial- und Ulnarabduktion: Diese Bewegungen geschehen in erster Linie im Radiocarpalgelenk.

Das Os pisiforme ist nur in gerinem Maße an den Bewegungen im Handgelenk beteiligt. Es stellt ein Sesambein in der Sehne des m. flexor carpi ulnaris dar (62), und gehört funktionell nicht zur gelenkigen Einheit der Handwurzelknochen. Die funktionellen Zusammenhänge lassen sich gut veranschaulichen, wenn man sich das Handgelenk als System von Tasse mit Inhalt vorstellt. Diese Überlegung stammte von Arkless (6). Als Tasse bezeichnete er die proximale Reihe mit Os scaphoideum, Os lunatum und Os triquetrum, in der als Inhalt der "Zapfen" aus Os trapezoideum, Os capitatum und Os hamatum lagert.

2.2. Bandstrukturen des Handgelenkes

Den Bändern des Handgelenkes wird seit einigen Jahren zunehmend Aufmerksamkeit geschenkt. Inzwischen hat man die klinische Relevanz dieser Ligamente erkannt. Allerdings herrscht über die ligamentären Strukturen

am Handgelenk noch keine Einigkeit. Wegen diesen Diskrepanzen haben wir an den Beginn unserer Arbeit Untersuchungen über die Bandstrukturen der Handwurzel an Leichenpräparationen gestellt. Daraus haben wir eigene Vorstellungen dieser Strukturen entwickelt.

Zum Schutz gegen eine Hyperextension, den häufigsten Verletzungsmechanismus typischer Handgelenksverletzungen, sind die volarseitigen Bänder kräftiger und zahlreicher als die dorsalseitigen. Alle Bänder verlaufen intrakapsulär, sie sind Teil der Gelenkkapsel, sie sind sozusagen in die Kapsel mit eingewoben.

Die volarseitigen Bänder

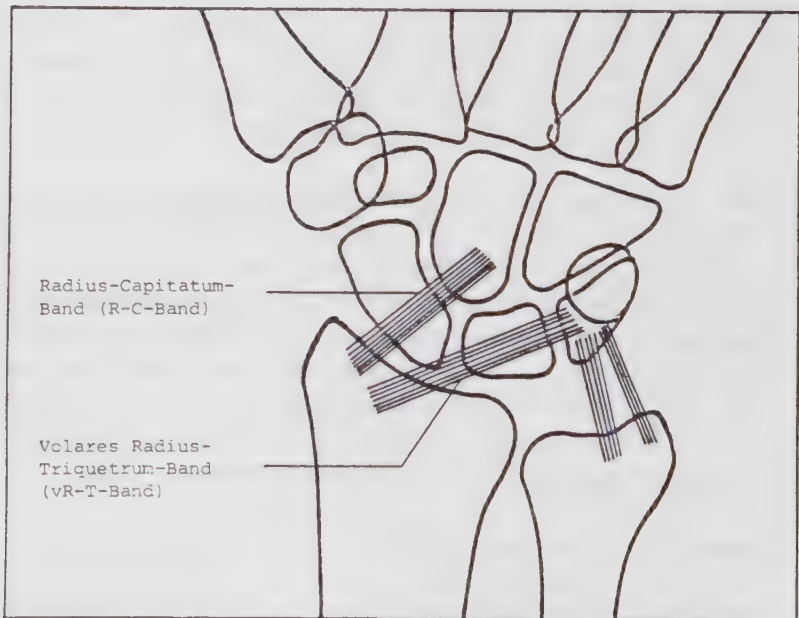


Abb.3

Diese Bänder sind, wie bereits erwähnt, kräftiger als die dorsalseitigen. Der volare Aufbau der Bänder der Handwurzel wird

bestimmt durch zwei kräftige Bandzüge, die parallel vom processus styloideus radii bzw. vom volaren Radius an das Os capitatum bzw. über das Os lunatum an das Os triquetrum führen. Das Radius-Capitatum-Band (R-C-Band) verläuft weiter distal als das volare Radius-Triquetrum-Band (vR-T-Band), setzt am proc. styl. radii an und überkreuzt das Scaphoid in seiner Mitte. Das vR-T-Band verläuft ähnlich dem



— Radius-Capitatum-Band (R-C-Band)

— Volares Radius-Triquetrum-Band (vR-T-Band)

Abb. 4

dorsalen R-T-Band über das Lunatum hinweg, ist an diesem festgewachsen und strahlt in das Triquetrum ein. Das Volare (R-T-Band) zieht steiler nach distal als das Dorsale.

Palmarseitig ist das Os triquetrum durch derbe, aber verhältnismäßig ungeordnete Faserstrukturen mit der Ulna verbunden. Volar ist die ligamentäre Verbindung des Os triquetrum zur distalen Reihe kräftiger als dorsal. Es ist hier in erster Linie mit dem Os capitatum verbunden.

Die dorsalseitigen Bänder

Es imponieren zwei Bandzüge, die sich spangenartig im Zickzack über das Dorsum der Handwurzel ausspannen. Das stärkste dorsale Band, das dorsale Radius-Triquetrum-Band (dR-T-Band), inseriert breit in der Mitte der Radiushinterkante und zieht zum Os triquetrum, in dessen Rückseite es flächig einstrahlt. Von hier verläuft

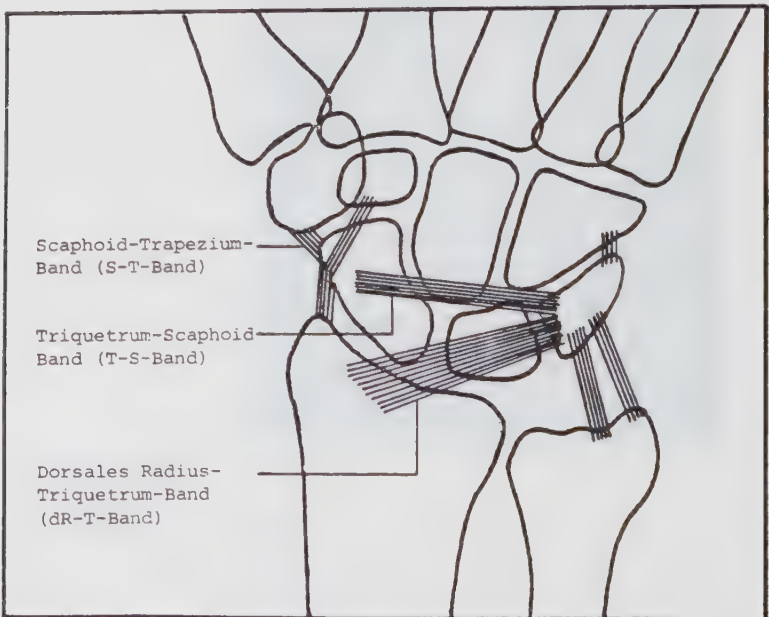


Abb. 5

das Triquetrum-Scaphoid-Band (T-S-Band) über das Os lunatum an den proximalen Teil der Scaphoidtalie, wobei es auch kräftig mit dem

Os lunatum verwachsen ist. Dadurch wird die proximale Handwurzelreihe (Scaphoid, Lunatum, Triquetrum) fest miteinander verbunden. Dieses Band hat daher ähnliche Funktion wie die interossären Bänder

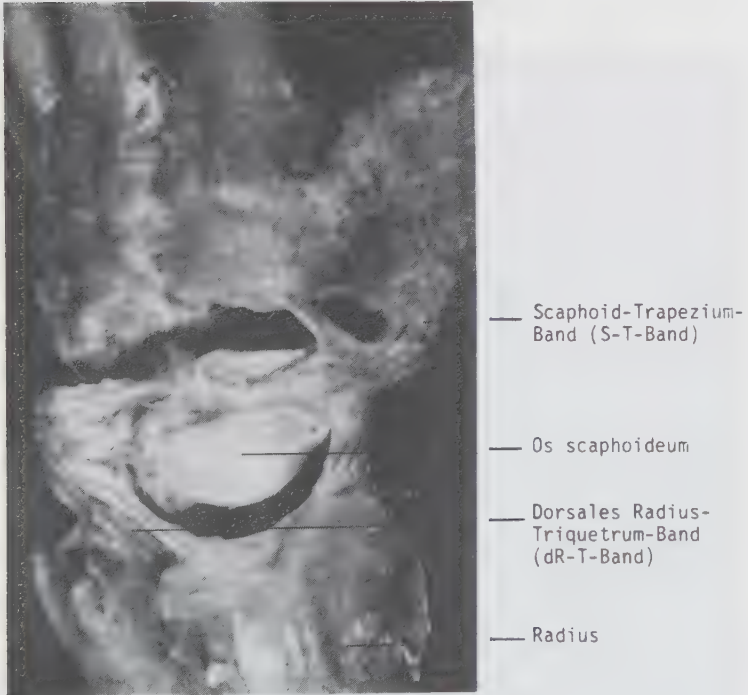


Abb. 6

zwischen Scaphoid und Lunatum (S-L-Band) sowie zwischen Lunatum und Triquetrum (L-T-Band): Alle diese Bänder formen die proximale Reihe auch funktionell zu einer Einheit. Dorsal und seitlich wird die proximale und distale Reihe der Handwurzel-Knochen zusätzlich zur Gelenkkapsel durch drei Bänder verbunden: Radialseitig ziehen verhältnismäßig derbe und kräftige Faserbündel vom Scaphoid an das

Trapezium. Dieses S-T-Band verläuft relativ weit volar, von der Talie am Tuberkulum des Scaphoid quasi als Seitenband zum Trapezium. Das STT-Gelenk (Scaphoid-Trapezium-Trapezoideum-Gelenk) wird von einem weiteren dorsalen Band geführt, das vom vorderen Drittel der Scaphoidtalie an das Trapezoideum führt. Es stimmt also nicht, daß, wie beschrieben wird (125), das STT-Gelenk nur von einer schlaffen Gelenkkapsel umgeben sei. Ulnarseitig zieht



- Os hamatum
- Triquetrum-Scaphoid-Band (T-S-Band)
- Dorsales Radius-Triquetrum-Band (dR-T-Band)

Abb. 7

ein Band vom Os triquetrum an das Os hamatum. Von der Ulna über den Discus triangularis zieht ein kräftiges Band als ulnares Seitenband an das laterale Triquetrum.

Bei einer perilunären Luxation wird das Os lunatum durch das kräftige

vR-T-Band (wie auch durch das dR-T-Band) am Radius fixiert, während der übrige Carpus nach dorsal oder selten nach volar luxiert.

Die distale Reihe der Handwurzelknochen ist untereinander sowie mit den Metacarpalknochen durch äußerst straffe interossäre Bänder verbunden. Bei der Präparation der Handwurzel stellen sich ein Teil dieser Bänder volar als sternförmiges Bild dar, als ein Strahlenkranz, der vom Capitatum ausgeht.

Von großer klinischer Relevanz sind die interossären Bänder, die Scaphoid, Lunatum und Triquetrum, also die proximale Reihe, miteinander verbinden und zu einer funktionellen Einheit machen. Diese interossären Bänder verhindern auch eine Kommunikation des Radiocarpal-Gelenkes mit dem Intercarpal-Gelenk, eine für die Interpretation einer Handgelenksarthrographie wichtige Tatsache. Zunehmende Bedeutung

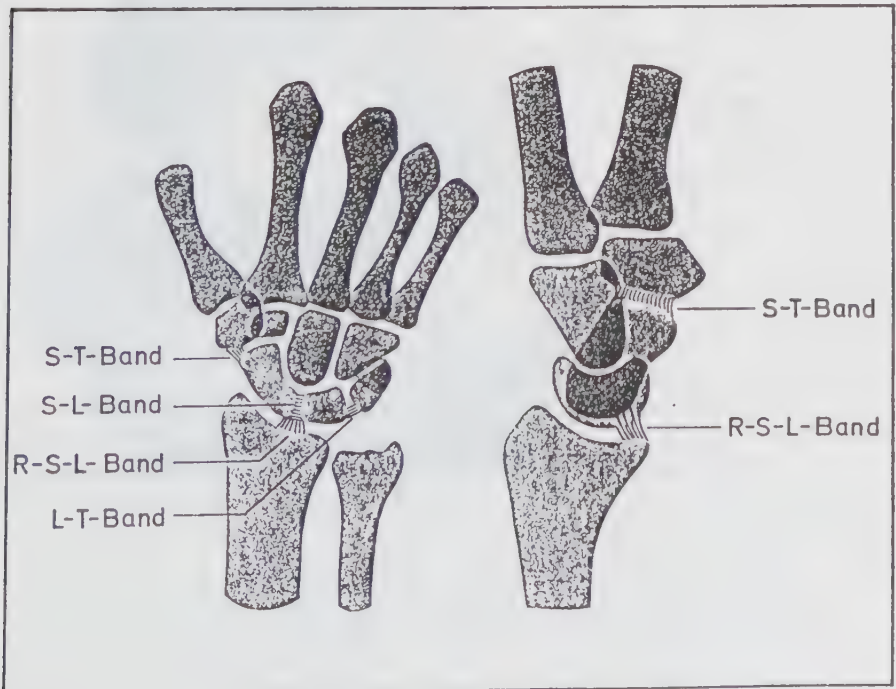


Abb. 8

erlangt das intraartikulär verlaufende R-S-L-Band (Radius-Scaphoid-Lunatum-Band). Von der Mitte der volaren Radiuskante verläuft es zum interossären S-L-Band, in das es übergeht. Wie ein Frenulum zieht es durch das Radiocarpal-Kompartiment und ist von seiner Funktion ein Zügel für den proximalen Scaphoidpol. Das R-S-L-Band limitiert bei der Radial- und Ulnarabduktion die Gleitbewegung der proximalen Handwurzelreihe in der tassenartigen Gelenkmulde des Radiocarpalgelenkes.

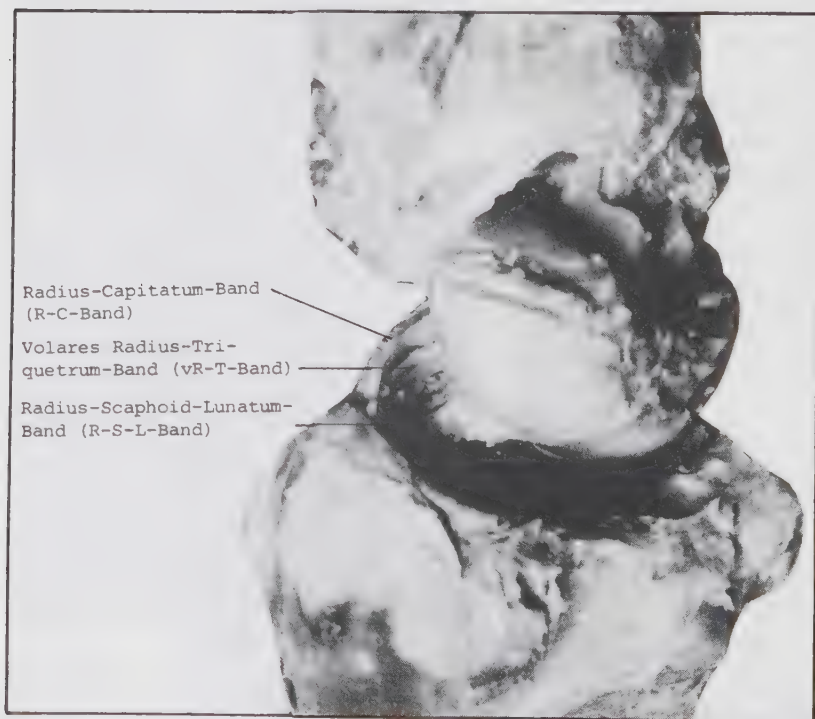


Abb. 9

Darüber hinaus fixiert es den proximalen Scaphoidpol gegen eine Luxation nach dorsal. Dieses Band wird noch bei der Rotationssubluxation des Scaphoid (RSS) und der Zentralen dorsalen Instabilität (ZDS) Erwähnung finden.

2.3. Spezielle Anatomie

Für die Funktion des Handgelenkes kommt dem Os scaphoideum eine Schlüsselrolle zu. Es ist anatomisch wie funktionell Brückenglied zwischen der proximalen und distalen Reihe (35). Auf der seitlichen Röntgenaufnahme erkennt man das Scaphoid als hantelförmigen Knochen, der teilweise von Lunatum und Capitatum überlagert wird. Auch wird deutlich, daß das Scaphoid mit seiner Achse (in Neutralstellung) nach volar gekippt steht.

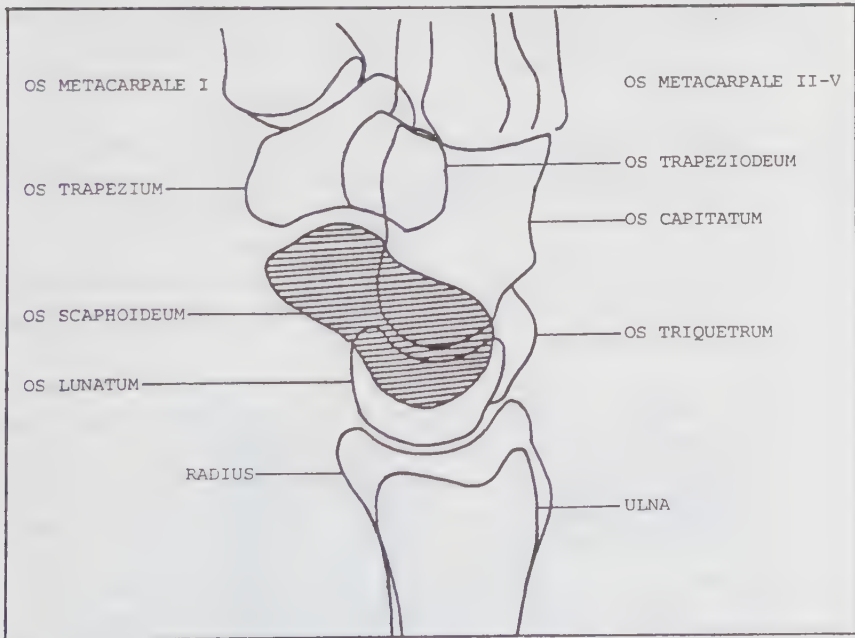


Abb. 10

Das Os scaphoideum besitzt von allen Handwurzelknochen die größte Beweglichkeit, welche es sowohl bei der Radial- und Ulnarabduktion, als auch bei der Volarflexion und Dorsalextension demonstriert (68).

Daher frakturiert das Scaphoid nicht nur sehr häufig, sondern auch viele posttraumatische Bandläsionen und degenerativen Veränderungen betreffen Gelenke, an denen das Scaphoid beteiligt ist.

Das Scaphoid besitzt vier gelenkige Verbindungen zu anderen Knochen:

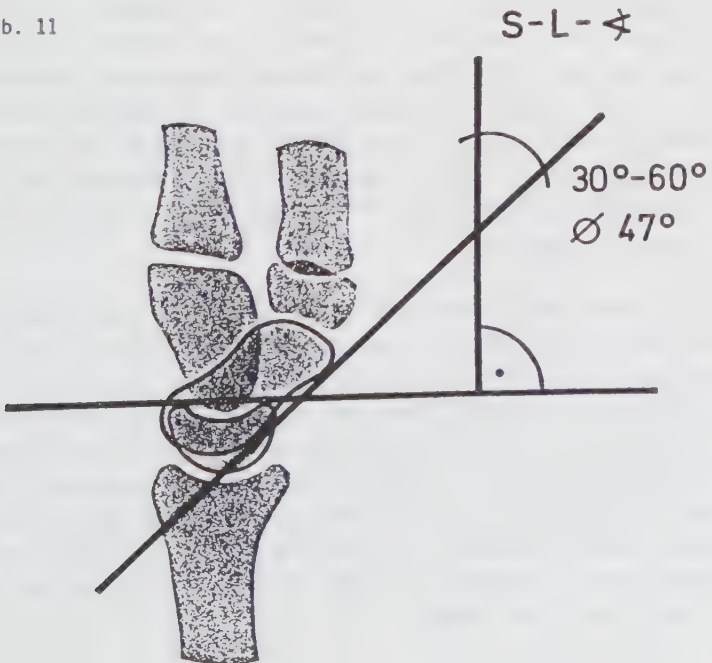
1. Es bildet mit dem Radius einen wesentlichen Teil des Radiocarpal-Gelenkes. Die Beweglichkeit in diesem Gelenk bestimmt zum größten Teil die Gesamtbeweglichkeit im Handgelenk.
2. Das distale Scaphoid artikuliert mit Trapezium und Trapezoideum. Dieses Gelenk wird Scaphoid-Trapezium-Trapezoideum-Gelenk (STT-Gelenk) genannt.
3. Medial bildet es ein Gleitlager für das Capitatum, indem es sich diesem schalenförmig anlegt.
4. Mit dem Lunatum ist der proximale Scaphoidpol durch ein breites interossäres Band straff verbunden. Dadurch ist zwischen den ebenen Gelenkflächen nur ein leichtes Verdrehen der beiden Knochen gegeneinander möglich.

Das Scaphoid ist proximal wie distal von einer konvexen Knorpelhaube überzogen. Dazwischen liegt ein Band rauhen Knochens, Talie genannt, in das die Kapsel und Bandstrukturen einstrahlen. Die Talie verläuft waagrecht von dorsal nach ventral bis zum Tuberkulum um das Scaphoid herum. In der Achse des Knochens gesehen windet sich die Talie von proximal nach distal um das Scaphoid herum. Das volare Tuberkulum, auch Tuberositas des Os Scaphoideum genannt, stellt zusammen mit dem Os trapezium die radiale knöcherne Begrenzung des Carpalkanals dar.

Der Grad der Volarflexion des Scaphoid ist von der Funktionsstellung des Handgelenkes abhängig. Das Scaphoid rotiert bei der Volarflexion und Dorsalextension nach volar bzw. nach dorsal. Auch während einer Radial- bzw. Ulnarabduktion ändert sich der Kippwinkel des Os scaphoideum. Bei der Radialabduktion kippt das Os scaphoideum mit seinem

distalen Pol nach volar, um dem sich von distal nähernden Os trapezium Platz zu machen, das sich dann über das Scaphoid schiebt, bzw. etwas dessen Rücken hinuntergleitet. Entsprechend bei der Ulnarabduktion richtet sich das Os scaphoideum auf, macht sich "lang", um den drohenden Spalt zum sich entfernenden Os trapezium zu überbrücken und damit den Bewegungsumfang des Handgelenkes auch in dieser Richtung zu vergrößern (5, 6, 68, 134). Ein Maß für den Grad der Volarflexion des Os scaphoideum ist der Scaphoid-Lunatum-Winkel (S-L- $\angle$), unter der Voraussetzung, daß bei einer streng seitlichen Röntgenaufnahme der Handwurzel Radius und Metacarpalknochen kollinear stehen, sowie Radius und Ulna übereinanderprojiziert sind und das Handgelenk bei der Aufnahme sich weder in Ulnarabduktions- noch Radialabduktionsstellung befunden hatte. Der Scaphoid-Lunatum-Winkel ist ein diagnostisches Kriterium bei der Suche nach einer Zentralen dorsalen Instabilität (ZDI) bzw. einer Rotationssubluxation des Scaphoid (RSS).

Abb. 11



Mit den Bändern kommen auch die das Os scaphoideum versorgenden Blutgefäße entlang der Talie an den Knochen. Dabei versorgen die entscheidenden Blutgefäße das Scaphoid vom Tuberkulum aus, also von distal her (124). Frakturiert das Os scaphoideum proximal, entsteht ein von der Blutversorgung abgeschnittenes Fragment. Daher kann es zur Pseudarthrose, aber auch zur aseptischen Knochennekrose des proximalen Fragmentes kommen.

Das Os triquetrum bildet mit seinen starken, sowohl volar- als auch dorsalseitigen Bandansätzen, einen der Anker des Handwurzel-skelettes (16). Das Os triquetrum wird durch den dreieckigen Faserknorpel (discus triangularis), der eine Kommunikation von Radiocarpal- und distalem Radio-Ulnar-Gelenk in ca. 85 % der Fälle verhindert, von der Ulna separiert. Die ulnare Begrenzung des Radiocarpal-Kompartments kann durch einen Meniskus gebildet werden, der an dieser Stelle fest mit dem Os triquetrum verbunden ist und sowohl eine Kommunikation des Pisiforme-Triquetrum-Gelenkes mit dem Radiocarpal-Kompartiment in ca. 70 % der Fälle verhindert, als auch ein Recessus praestylloideus mitformiert (77, 106). Dieser Meniskus kann gelegentlich ein Ossifikationszentrum, Lunula genannt, enthalten, das einen rundlichen Röntgenschaten gibt, der zwischen Os triquetrum und Proc. styl. ulnae liegt. Man sollte sich aber immer vergewissern, ob es sich nicht um eine Pseudarthrose des Proc. styl. ulnae handelt. An der volaren Fläche des Os triquetrum befindet sich distal und ulnarseitig die Gelenkfläche für die Artikulation mit dem Os pisiforme. Dieses Gelenk spielt für die funktionelle Einheit der Handwurzel keine Rolle.

Die ligamentäre Aufhängung des Os triquetrum ist für die Stabilität des Handgelenkes von entscheidender Bedeutung. Die zwei kräftigsten Bänder des Handgelenkes, das volare und dorsale Radius-Triquetrum-Band (vR-T-Band, dR-T-Band), ziehen vom proc. styl. radii über das Os lunatum an das Os triquetrum und bilden so eine Schlinge für das Os triquetrum, weshalb diese Architektur auch als Schleuder bezeichnet wird. Die weiteren Bänder um das Os triquetrum herum, das (volarseitige) Triquetrum-Capitatum-Band (T-C-Band), das (dorsalseitige) Triquetrum-Hamatum-Band (T-H-Band) sowie die proximale Fixierung von der Ulna aus, wurden bereits beschrieben.

Das Os trapezium stellt phylogenetisch einen zurückentwickelten Metacarpalknochen dar und bildet die funktionelle Basis für den Daumen, indem es an seiner distalen Fläche zusammen mit dem Os metacarpale I das Daumensattelgelenk bildet, das drei Bewegungsarten ermöglicht (28):

- I. Flexion-Extension
- II. Abduktion-Adduktion
- III. Rotation

Verletzungen des Gelenkknorpels und des Kapselbandapparates dieses Gelenkes führen akut zu einer schmerzhaften Funktionseinschränkung des Daumens und chronifiziert zur ebenfalls oft sehr schmerzhaften Rhizarthrose.

Das zweite wichtige Gelenk ist proximal die Artikulation mit dem Os scaphoideum, Scaphoid-Trapezium-Trapezoideum-Gelenk (STT-Gelenk) genannt. In diesem Gelenk kann es zu einer isolierten Arthrose kommen, die möglicherweise Folge nicht erkannter Bandläsionen im Bereich dieses Gelenkes ist. Im Kapitel über Instabilitäten wird hierauf näher eingegangen werden.

Dem würfelförmigen Grundkörper des Os trapezium sind drei Höcker aufgesetzt: Von volar das große Tuberkulum ossis trapezii, das der Ansatzpunkt für das Retinakulum flexorum, welches den Carpal Kanal verschließt, ist; radialseitig ein Höcker, an dem sowohl Faserzüge vom Sattelgelenk als auch das kräftige S-T-Band vom Scaphoid ankommen; der dritte Höcker ist schließlich der dorsal-ulnare Fortsatz, der die Verbindung des Os trapezium zum Os metacarpale II herstellt (103).

Das Os lunatum hat seinen Namen durch sein charakteristisches Aussehen auf der seitlichen Röntgenaufnahme, das dem einer Mondsichel gleicht. In der p-a-Aufsicht bietet es das Bild eines etwas ausgezogenen Trapezes. Da diese Form der Mondsichel nicht streng symmetrisch ist, sondern etwas keilförmig, d.h. der Abstand zwischen der proximalen und distalen Gelenkfläche ist volarseitig größer als dorsalseitig,

hat das Os lunatum die Tendenz nach volar zu subluxieren, bzw. mit seiner konkaven, distalen Gelenkfläche nach dorsal zu zeigen (68). Ist die ligamentäre Führung des Os lunatum insuffizient, kann es zu diesem Bild einer Handgelenksinstabilität kommen.

Durch die interossären Bänder zum Os scaphoideum bzw. zum Os triquetrum werden die Bewegungen der proximalen Reihe synchronisiert, d.h. das Os lunatum macht die Rotationsbewegungen des Os scaphoideum bei der Flexion-Extension sowie Radial-Ulnarabduktion mit, nur in etwas weniger ausgeprägtem Umfang. Ligamentär wird das Os lunatum neben den zwei interossären Bändern vom vR-T-Band, dR-T-Band sowie dem R-S-L-Band geführt. Außer der Gelenkkapsel gibt es keine direkten Bandzüge zwischen Os lunatum und Os capitatum, weshalb hier ein verwundbarer Bezirk, genannt space of Piorer (125), besteht.

Das einzige Gelenk des Os hamatum, in dem Bewegung möglich ist, ist die Artikulation mit dem Os triquetrum. Diese sich ulnar, proximal befindende Gelenkfläche ist palmarwärts geneigt, wodurch das Os triquetrum bei der Ulnarabduktion am Os hamatum entlang von proximal nach distal und gleichzeitig nach palmar rotierend, gleitet. Dieses Gelenk ist deshalb mitverantwortlich für die aufrichtende Rotation des Os scaphoideum bei der Ulnarabduktion (106).

Das Os hamatum besitzt einen stabförmigen Zapfen (hamulus ossis hamati), der fast senkrecht vom Knochenkörper, palmarwärts ragend, absteht. Dieser Hamulus bildet einen hebelartigen Ansatz für die Sehne des M. flexor carpi ulnaris, in die kurz vorher das Os pisiforme als Sesambeim eingelagert ist (110). Unmittelbar ulnarseitig des Hamulus verläuft in der Guyon'schen Loge der tiefe Ast des Nervus ulnaris, ebenso die tiefe Beugesehne des 5. Fingers.

Das an sich runde Os pisiforme hat an seinem Rücken die flache Gelenkfläche mit dem Os triquetrum. Dieses Gelenk kann früh arthrotische Veränderungen zeigen (106, 130), auch kommen hier bevorzugt Verkalkungen vor (129). Das Os pisiforme liefert nicht nur Ansatzpunkte für

die Sehne des m. flexor carpi ulnaris und deren Fortsetzung, sondern hier entspringt auch der M. adduktor digiti quinti und das kräftige Retinakulum flexorum hat einen Ansatzpunkt.

Das Os capitatum ist der größte der Handwurzelknochen. Der proximale Kopf ist von Gelenkknorpel überzogen und lagert in dem von Os scaphoideum und Os lunatum gebildeten Acetabulum. Die eigentliche ligamentäre Verbindung der proximalen und distalen Reihe läuft über das Os capitatum, da zu diesem das R-C-Band und das T-C-Band ziehen (83). Diese beiden Bänder bilden ein auf dem Kopf stehendes V (125) und sind die primären Stabilisatoren der distalen Reihe. An der Verbindungsstelle dieser beiden Bänder befindet sich auch das Rotationszentrum des distalen "Tasseninhaltes", den das Os capitatum mit seinen angefügten Satelliten Os hamatum und Os trapezoideum bildet (83, 146).

3. Technische und Methodische Möglichkeiten zur Verbesserung der Detailerkennbarkeit und Erweiterung der diagnostischen Information

3.1. Verstärkerfolien, Filme: Seltene Erden Folie (SE 1, Fa. Cawo), folienloser Film (Mammographiefilm), Farbfilm (Medichrome, Fa. Agfa)

Für die Routine in der Röntgendiagnostik peripherer Extremitäten wird in der Röntgenabteilung der Chirurgischen Universitätsklinik München Innenstadt eine Seltene Erden Folien-Film Kombination benutzt. Dabei wird die geringst verstärkende SE-Folie (SE 1, Fa. Cawo), und diese dem Film nur einseitig anliegend, verwendet. Auf Grund einer höheren Röntgenabsorption (höherer Wirkungsgrad) sind SE-Folien dünner als Calcium-Wolframat-Folien. Dadurch wird die Innere Unschärfe des SE-Film-Folien Systems auf ein Minimum reduziert bei immernoch sehr geringer Strahlenbelastung.

Durch die Entwicklung besonderer Weichstrahlfilme für die Mammographie erfährt der folienlose Film (Materialprüffilm) eine gewisse Renaissance in der Röntgendiagnostik peripherer Extremitäten. Durch den Wegfall jeglicher Streuung an Verstärkerfolien ist eine bessere Detaildarstellung z.B. der Knochenbälkchenstruktur möglich. Diese Filme werden jedoch entgegen ihrer ursprünglichen Bestimmung (Weichstrahltechnik, unter 35 kV) sogar mit einer etwas höheren Röhrenspannung als Standardaufnahmen belichtet. Unsere eigenen Versuche sowie die bereits stattfindende Anwendung hat gezeigt, daß eine optimale Darstellung der Knochenstruktur im Bereich der Hand und des Handgelenks eine Belichtung mit ca. 60 kV und 100 mAs erfordert. Die höhere Spannung und Stromstärke erhöhen dabei die Eintrittsdosis auf das ca. 8-fache einer Standardaufnahme, die effektive Strahlenbelastung wird um den Faktor 6 erhöht sein. Daher ist diese Aufnahmetechnik nur in speziellen Fällen indiziert und nicht für den Routinebetrieb geeignet.

Der Farbfilm (Medichrome^R, Fa. Agfa) soll wegen erweitertem Bildumfang eine größere Detailerkennbarkeit bei ungefähr gleicher Strahlenbelastung ermöglichen. Auch soll er in einem weiteren Belichtungsbereich diagnostisch verwertbar sein, wodurch das Untersuchungsergebnis

unabh nger von Ober- oder Unterbelichtung wäre (11).

In eigenen Versuchen haben wir jedoch festgestellt, daß der Medichrome Film im Vergleich mit herkömmlichen Filmen keine Vorteile in der Röntgendiagnostik von Extremit tenabschnitten bietet.

3.2. Aufnahmeverfahren

3.2.1. Vergrößerungsaufnahme mit Fein - focusr hre (Kantenlänge 0,3 mm)

Das Prinzip einer Vergrößerungsaufnahme ist die Entfernung des Filmes vom Objekt oder umgekehrt. Der Vergrößerungsfaktor wird durch das Verhältnis von Focus-Film-Abstand zu Focus-Haut-Abstand bestimmt. Um die geometrische Unschärfe, die bedingt ist durch die Zweidimensionalität des Brennfleckes, so gering wie möglich zu halten, ist man bei normalen

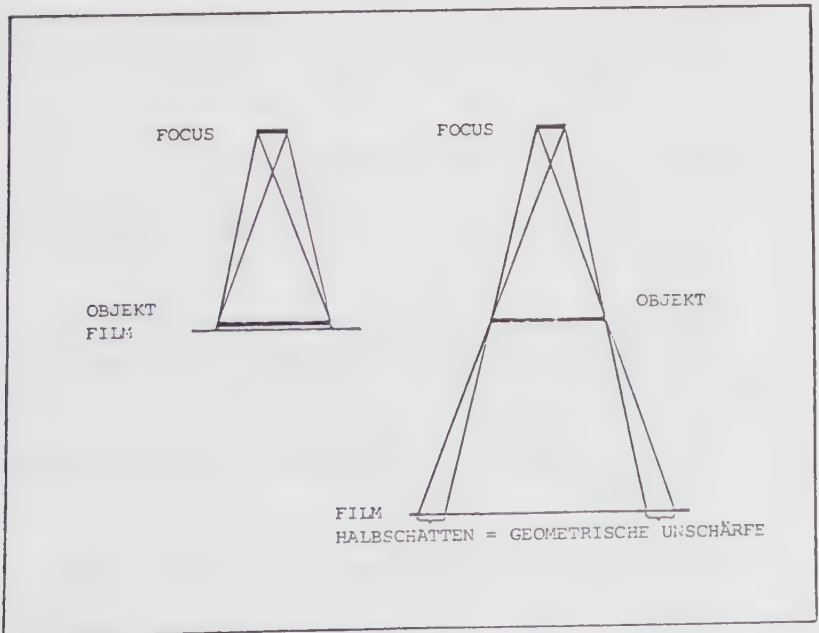


Abb. 12

Röntgenaufnahmen bestrebt, den Abstand von Objekt und Film möglichst klein zu halten. Voraussetzung für eine direkte röntgenologische Vergrößerungsaufnahme ist daher die Verwendung einer Röntgenröhre mit minimal kleinem Brennfleck.

Die theoretischen Vorteile einer Vergrößerungsaufnahme sind:

- Kleine Details, die auf Grund der inneren Unschärfe bei einer Normalaufnahme nicht darstellbar sind, werden durch die direkte Vergrößerung über die innere Unschärfe angehoben und damit sichtbar.
- Eben noch sichtbare Details werden in der Vergrößerungsaufnahme leichter bemerkt.
- Die unmittelbar hinter dem Objekt besonders große Streustrahlung hat wegen der Entfernung des Filmes einen geringen Anteil an der bildgebenden Strahlung (Groedel-Effekt).
- Günstigeres Signal-Rausch-Verhältnis durch indirekte "Verfeinerung" der Körnung und geringeres Quantenrauschen durch insgesamt mehr Strahlung.

Nachteile einer direkten Vergrößerungsaufnahme sind:

- Deutlich höhere Einfallsdosis durch geringeren Focus-Haut-Abstand und höhere Belichtung (zur Schwärzung eines größeren Films).
- Durch Verlängerung der Belichtungszeiten (geringere Belastbarkeit des kleineren Brennflecks) erhöhte Gefahr von Bewegungsunschärfen (Verwackeln).
- Erhöhung der geometrischen Unschärfe entsprechend dem Vergrößerungsfaktor.
- Umständlicher und zeitintensiver als eine Normalaufnahme.

Zwar ist die Möglichkeit der besseren Darstellung kontrastreicher Mikrodetails bei Vergrößerungsaufnahmen unter sonst gleichen Aufnahmebedingungen erwiesen (39), dennoch ist die Bildqualität bei Verwendung des gleichen Brennfleckes stark abhängig von der Qualität des verwendeten Filmmaterials bzw. der verwendeten Film-Folien-Kombination, das wiederum die Strahlenbelastung bestimmt. Weiterhin sind wir der Meinung, daß die Zunahme der geometrischen Unschärfe schwerer wiegt, als die genannten Vorteile. Darüberhinaus steht uns mit den Materialprüffilmen (folienlose Filme) ein System mit minimaler innerer Unschärfe zur Verfügung, dessen Aussagekraft selbst durch zusätzliche direkte Vergrößerung kaum verbessert werden kann (39, 42), womit in indizierten Fällen einer Aufnahme auf folienlosem Film der Vorzug zu geben ist.

3.2.2. Tomographie

Die konventionelle Tomographie, die bereits seit den 30er-Jahren in der Handgelenksdiagnostik angewendet wird (64), ist eine Aufnahmetechnik zur Herstellung von Röntgensichtaufnahmen. Dabei bewegen sich Röntgenröhre und Filmkassette während der Aufnahme gegenläufig. Die Gewebeschicht im feststehenden virtuellen Drehpunkt der Achse von Röhre und Kassette wird scharf abgebildet, darüber- und darunterliegende Strukturen verwischt. Speziell die Strukturen dieser Gewebeschicht, die der Zentralstrahl tangential erfaßt, werden deutlich abgebildet (58).

Zu Beginn in den dreißiger Jahren stand für eine tomographische Untersuchung nur eine lineare, pendelnde Verwischungsart zur Verfügung (64). Als Anfang der 50er-Jahre kompliziertere Verwischungsarten wie auf einer elliptischen, kreisförmigen oder gar hypozykloidalen Bahn möglich waren, zeigte sich, daß damit ein großer

Abb. 4 Verwischungsarten in der Tomographie

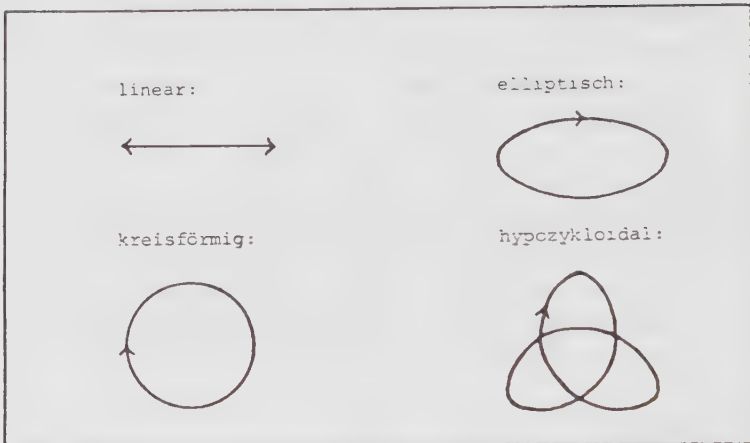


Abb.13

Fortschritt in der Schichtaufnahmetechnik erreicht war. Daß man gerade im Bereich des komplizierten Handgelenkes auf alle Fälle die mehrdimensionale hypozykloidale Verwischungsart anwenden soll, wurde bald erkannt und verschiedentlich beschrieben (58, 123).

Das hervorragende Auflösungsvermögen dieser Aufnahmetechnik wird aber nicht nur durch die Kompliziertheit der Verwischung, sondern auch durch die Dicke der scharf abgebildeten Gewebeschicht bestimmt. Die Stärke dieser scharfen Ebene hängt vom Pendelwinkel ab und kann geringer als ein Millimeter sein, wodurch man in der Lage ist, alle 2 mm eine neue Schichtaufnahme anzufertigen. Außerdem kommt ein Vergrößerungseffekt von ca. 1,3 zum Tragen. Die große Aussagekraft, die sich mit Hilfe dieses Verfahrens erreichen läßt, wird allerdings mit einer erheblichen Strahlenmehrbelastung erkauft: So beträgt die Strahlenbelastung für eine Röntgenuntersuchung mit sechs Schichtaufnahmen das 28-fache von einer normalen p-a Aufnahme des Handgelenkes.

Die Tomographie hat heute ihren festen Platz in der Röntgendiagnostik des Handgelenkes, wie ein Blick in die Literatur (auch neueren Datums)

zeigt (1, 16, 22, 26, 43, 46, 120). Der Nachteil dieser Methode ist die relativ hohe Strahlenbelastung für den Patienten (siehe 3.3.1.) und der große zeitliche Aufwand.

Nicht selten jedoch bleibt als letzte diagnostische Möglichkeit nur die Tomographie. Bei solchen unklaren Fällen, bei denen dann eine tomographische Untersuchung indiziert ist, sollte man aber in jedem Fall die aufwendigste Verwischungsart wählen, auch wenn dadurch die Strahlenbelastung auf Grund der längeren Strahlungszeit vergrößert wird.

Experimenteller Vergleich unterschiedlicher Verwischungsarten:

An drei Leichenhandgelenken haben wir die verschiedenen Verwischungsarten im direkten Vergleich gegeneinander geprüft.

Die drei Handgelenke zeigten folgende Befunde:

- ein unauffälliges Handgelenk
- ein Handgelenk mit arthrotischen Veränderungen
- ein Handgelenk mit einer Lunatummalazie mit vorwiegend zystischen Veränderungen.

Die Handgelenke wurden im 2 mm Abstand jeweils linear, kreisförmig, elliptisch und hypozykloidal geschichtet. Bei der linearen und elliptischen Verwischung war die Pendelrichtung senkrecht zur Unterarmachse.

Wir haben die Aufnahmen unter folgenden Qualitätskriterien beurteilt:

- wie stark ist die Bildaussage durch überlagerte Verwischungsstrukturen beeinträchtigt
- wie dick ist die dargestellte Schicht bzw. wie scharf lassen sich Dichtesprünge (Zystenwand) darstellen
- wie gut ist die Detailerkennbarkeit.

Dabei zeigte sich, daß die Tomographie mit hypozykloidaler Verwischung im Vergleich zu den anderen Verwischungsarten die leistungsfähigste ist. Dabei sind mit der kreisförmigen und elliptischen Verwischung ebenfalls recht gute Ergebnisse zu erzielen (vgl. 40).

3.2.3. Xeroradiographie

Die Xeroradiographie ist ein elektrostatisches Röntgen-Aufnahmeverfahren. Die Röntgenstrahlung verursacht dabei eine partielle Entladung einer elektrostatisch aufgeladenen Selenschicht, wodurch es möglich ist, ein Pulverbild mit elektrisch geladenem Farbpulver zu erzeugen (73).



Abb.14

Die Aufnahmen werden üblicherweise in Hartstrahltechnik bei einer Röhrenspannung von 120-125 keV angefertigt. Die Strahlenbelastung bei Extremitätenaufnahmen muß dabei nicht größer sein, da sich bei zunehmender Aufhärtung der Strahlung die Strahlenausstrittsdosis überproportional größer wird.

Durch sogenannte Auslöschphänomene kommt es zu einer Kontrastverstärkung. Dabei werden Knochenstrukturen durch diese Konturverstärkung besonders ausgeprägt wiedergegeben, sicherlich ein Vorteil in der Frakturdiagnostik. Die Xeroradiographie ermöglicht es, gleichzeitig Weichteil- und Knochenstrukturen in einer Aufnahme beurteilbar zu machen. Dagegen unterdrückt sie großflächige Kontrastunterschiede; eine Osteoporose ist daher nicht darstellbar. Dabei ist gerade die Beurteilbarkeit des Kalksalzgehaltes eine unabdingbare Forderung für die Handgelenksdiagnostik. Auch der Sitz von Osteosynthesematerial sowie die ossäre Reaktion auf dieses kann wegen Auslöschphänomenen nicht beurteilt werden (113).

Den Vorteilen der Xeroradiographie (großer Darstellungsbereich, Kontrastreichtum, kaum Fehlbelichtungen) stehen also auch Nachteile gegenüber (Unmöglichkeit der Beurteilung des Kalksalzgehaltes, hohe Strahleneintrittsdosis, komplizierte Handhabung und Wartung). Daher hat sich die Xeroradiographie nicht durchgesetzt.

3.2.4. Methode zur Funktionsdiagnostik des Handgelenkes mit Hilfe gehaltener Aufnahmen

Reine Band- und Kapselrupturen sind, ist nicht einer ihrer knöchernen Fixpunkte ausgerissen, auf normalen Röntgenbildern nicht darstellbar. Da sie aber den Bewegungsumfang eines Gelenkes auf das physiologische Maß begrenzen, lassen sich solche Rupturen durch vermehrte Gelenkaufklappbarkeit bei gehaltenen Aufnahmen im Vergleich zur gesunden Seite darstellen.

Damit die Beurteilung einer solchen Untersuchung sinnvoll wird, müssen die Bedingungen bei solchen Aufnahmen jeweils gleich sein, d.h. standardisiert und reproduzierbar. Die auf das Gelenk wirkenden Kräfte müssen definiert sein, der Angriffspunkt der Kraft muß wegen der Hebelverhältnisse genau bestimmt sein wie auch die Winkelstellung der Anordnung gleich sein muß.

Dr. Mayer aus der radiologischen Abteilung der Chirurgischen Universitätsklinik München Innenstadt hat hierzu eine Untersuchungsvorrichtung entwickelt, mit der es möglich ist, diesen Anforderungen an eine gehaltene Aufnahme gerecht zu werden. Der Unterarm wird dabei fixiert, das Handgelenk bleibt frei beweglich. Die Andruckkraft beträgt 6 kp und wird durch einen Druckapparat der Firma Telos appliziert.

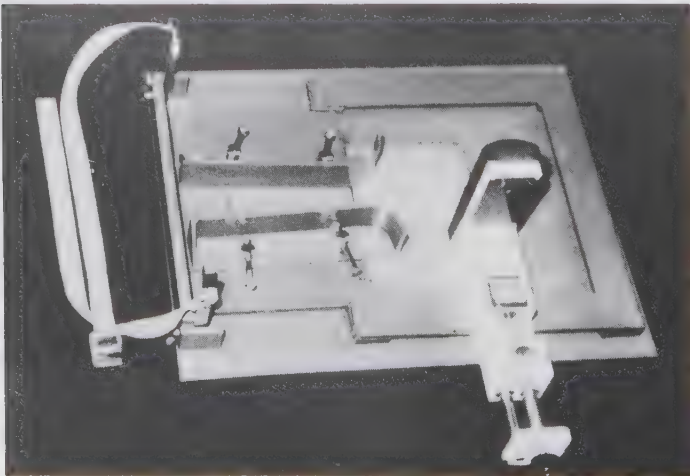


Abb. 15

Dieses Gerät bietet aber noch zusätzliche Vorteile:

Wurden gehaltene Aufnahmen früher nur ungern angefertigt, da sich zum Halten der Extremität jeweils eine zusätzliche Person in unmittelbarer Nähe der Röntgenröhre aufhalten mußte, sind mit diesem Gerät die Aufnahmen ohne die Gegenwart von Personal möglich. Auch behindert kein Bleihandschuh den Überblick und exakte Auflage und Druck lassen es zu, eine Aufklappbarkeit bei bestimmten Kräften als pathologisch zu bestimmen.

Funktionsuntersuchung des Handgelenkes in Ulnarabduktion:

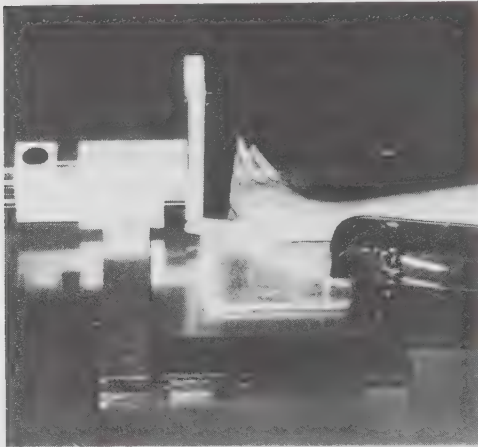


Abb.16

Einstelltechnik in
Ulnarabduktion

Mit dieser Einstellung lassen sich folgende pathologische Befunde nachweisen:

Abb.17



Pathologische Aufklappbarkeit
zwischen Os scaphoideum und
Os lunatum
(S-L-Dissoziation)

Abb.18



Pathologische Aufklappbarkeit
zwischen Os trapezium bzw.
Os trapezoideum
(STT-Dissoziation)

Funktionsuntersuchung des Handgelenkes in Radialabduktion:



Einstelltechnik für
eine Röntgenaufnahme
in Radialabduktion

Abb.19

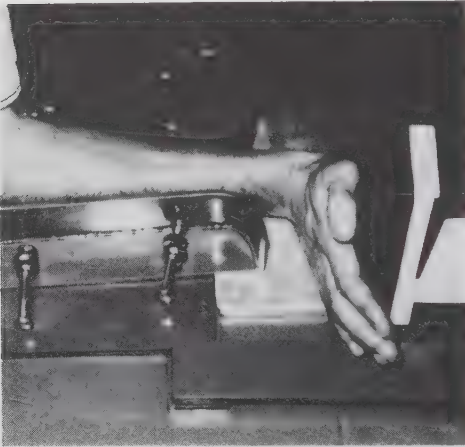


Vermehrte Aufklappbar-
keit zwischen Os tri-
quetrum und Os hamatum

Abb.20

Die Aufnahmen in Ulnarabduktion und Radialabduktion dienen auch zur Darstellung und Begutachtung des möglichen Bewegungsumfanges z.B. nach Trauma. Für den physiologischen Bewegungsumfang bei Radialabduktion bzw. Ulnarabduktion sowie die Meßmethode zur Ermittlung der Winkelgrade vergleiche 2.1..

Funktionsuntersuchung des Handgelenkes in Dorsalextension:



Zur Untersuchung in Dorsalextension wirkt die Haltekraft von distal auf die Metacarpo-Phalangeal-Gelenke. Der Unterarm ist in seitlicher Position fixiert.

Abb.21



Eingeschränkte Dorsalextension:
In unserem Beispiel besonders im Intercarpalgelenk bei Scaphoidpseudarthrose

Abb.22

Der Bewegungsumfang für eine Dorsalextension beträgt für gesunde Personen ca. 85°. Bestimmt wird der Winkel zwischen Radiusachse und der Achse des Os Capitatum, die weitgehend der Achse der Metacarpalknochen im seitlichen Bild entspricht. Als Neutral-Null Stellung ist definiert, wenn Radius und die Metacarpalknochen colinear stehen (vgl. 2.1.).

Funktionsuntersuchung des Handgelenkes in Palmarflexion:



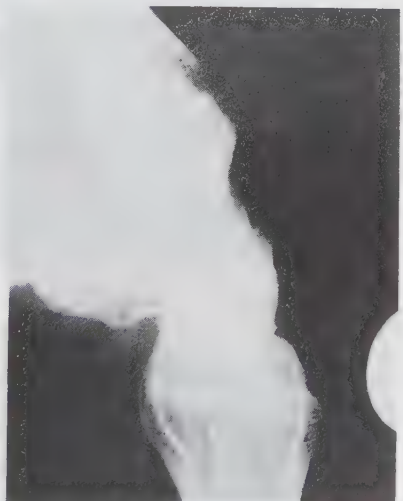
Abb. 24

Einstellung zur Funktionsaufnahme in Palmarflexion. Anpreßpunkt ist wie bei allen gehaltenen Aufnahmen die Höhe des Metacarpophalangeal-Gelenkes.

Abb. 23



Normalbefund



Eingeschränkte Palmarflexion

Nach der beschriebenen Meßmethode beträgt die durchschnittlich mögliche physiologische Palmarflexion 80° (für diese genauen Meßwerte danke ich M. Dorfmeister).

3.2.5. Methode und Ergebnisse der Frakturdiagnostik durch gehaltene Aufnahmen

Besteht klinisch der Verdacht auf eine Scaphoid-Fraktur und läßt sich durch herkömmliche Röntgendiagnostik (p-a, seitlich, Scaphoid-Serie, Tomographie) eine Fraktur nicht nachweisen, gelingt dieser Nachweis oft durch eine gehaltene Aufnahme in Ulnarabduktion.

Abb.26

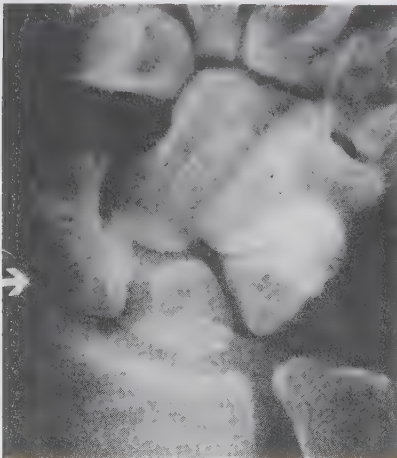


p-a Aufnahme

Abb.27



Tomogramm



Erst die gehaltene Aufnahme in Ulnarabduktion zeigt die Scaphoid-fraktur

Abb.28

Innerhalb eines Jahres konnten wir durch gehaltene Aufnahmen in Ulnarabduktion zusätzlich 7 Scaphoid-Frakturen diagnostizieren. Eine verfehlte Diagnose hätte in diesen Fällen für den Patienten unter Umständen erhebliche Folgen.

Hamatum-Frakturen lassen sich durch eine Aufnahme in Radialabduktion diagnostizieren (s. Kap. 4.4.). Die gehaltene Aufnahme sollte aber ebenfalls nur bei negativen Voruntersuchungen und bestehendem klinischen Verdacht angefertigt werden.

Eine Triquetrum-Fraktur kann sowohl durch Aufnahmen in Volarflexion (Distraction der Fraktur), als auch in Dorsalflexion (Abscheren des Fragmentes nach dorsal) zur Darstellung gelangen.

Diese Funktionsstellungen können auch Abrisse an der Radiusgelenk-lippe aufzeigen.

3.2.6. Methode zur Anfertigung einer Carpaltunnelaufnahme

Die Aufnahmeprojektion zur Darstellung der knöchernen Begrenzungen des Carpalkanals wurde zum ersten Mal 1941 von Hart und Gaynor (55) beschrieben. Seitdem hat die Carpaltunnelaufnahme in der Röntgendiagnostik des Handgelenkes ihren festen Platz (4, 14, 16, 17, 18, 19, 22, 25, 28, 32, 43, 56, 86, 99, 110, 120, 130, 142 und Kap. 4.3. bis 4.6.).

Nur darüber, wie diese Aufnahme angefertigt werden soll, herrschte bislang Uneinigkeit; eine Vielzahl von Möglichkeiten sind beschrieben worden (24, 52, 88, 89, 106, 107, 116, 148).

Damit der Carpalkanal verlässlich bezüglich einer knöchernen Einengung beurteilbar ist, muß auch diese Aufnahme unter standardisierten Bedingungen erfolgen. Auch sollte die Möglichkeit des Verwackelns ausgeschlossen sein.

Dazu verwenden wir ebenfalls die Einspannvorrichtung wie bei den gehaltenen Aufnahmen. Ist der Unterarm fixiert, wird die Hand mit Hilfe eines Bandzuges soweit als möglich Retroflektiert (im günstigsten Fall stehen die Finger im rechten Winkel zum Unterarm). Mit Hilfe des Mittelfingers läßt sich eine exakte Neutralstellung definieren, wodurch der größte Nachteil beim Selbsthalten durch den Patienten, das Verkippen, ausgeschaltet ist.

Der Zentralstrahl wird um ca. 30° gekippt, daß er ungefähr in einem Winkel von 20° - 25° zur Handfläche, von distal her auf den palmaren Aspekt des Handgelenkes trifft. Zentriert wird 3 cm proximal der Metacarpophalangealgelenke.

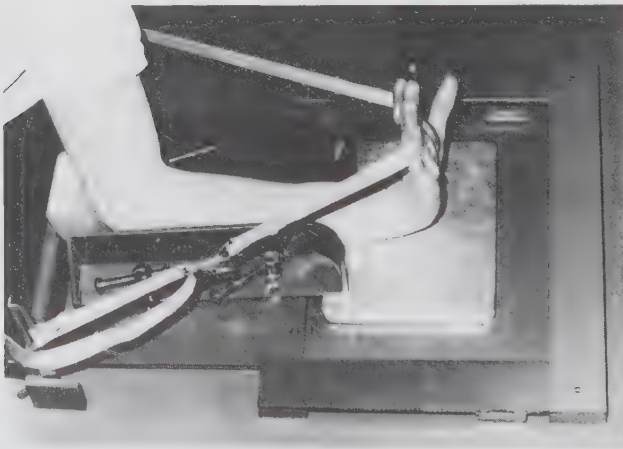


Abb.29

Der kleine Nachteil bei dieser Aufnahmetechnik, daß es wegen des die Filmkassette nicht senkrecht treffenden Nutzstrahlbündels zu einer leichten perspektivischen Verzerrung kommt, kann ohne weiteres in Kauf genommen werden.

Man kann mit dieser Methode zusätzlich versuchen, mit Hilfe von Definix-Aufnahmen Weichteilprozesse im Bereich des Carpalkanals z.B. bei einem Medianus-Kompressionssyndrom darzustellen.

3.3. Strahlenbelastung und Wirtschaftlichkeit

3.3.1. Untersuchung der Strahlenbelastung für verschiedene Verfahrensarten

Wir haben zur Beurteilung der Strahlen- und Streustrahlenbelastung bei unterschiedlichen Aufnahmetechniken in der Handgelenksröntgen-diagnostik Strahlendosismessungen durchgeführt.

Methode

Als Meßgerät verwendeten wir ein Viktorin-Dosimeter. Zur Messung der direkten Strahlenbelastung brachten wir eine 35 ccm Meßkammer in den Gang des Zentralstrahls. Die Meßkammer war dabei direkt auf der Haut befestigt. Zur Messung der Streustrahlung bedienten wir uns einer 350 ccm Meßkammer.

Als Versuchsobjekte dienten Leichenpräparate von oberen Extremitäten. Es wurden jeweils Aufnahmen des Handgelenkes im posterior-anterioren Strahlengang angefertigt. Der Focus-Haut-Abstand betrug in allen Fällen 87 cm. Die adäquate Strahlenexposition wurde sichergestellt durch die Überprüfung des Bildergebnisses.

Meßergebnisse

1. Dosismessungen der Primärstrahlung

Die durchschnittliche Eintrittsdosis bei einer Standardaufnahme bei Verwendung einer Seltene-Erden-Film-Folien-Kombination (nur Rückfolie (einfach) SE 1, Fa. Cawo) beträgt:

60 mR (Aufnahmeparameter: 50 kV, 20 mAs)

Die Eintrittsdosis bei einer Aufnahme mit folienlosem Film (hier: Definix, Fa. Kodak) beträgt:

380 mR $\pm$ 20 mR (Aufnahmeparameter: 60 kV, 100 mAs)

Eine Röntgenaufnahme des Handgelenkes mit folienlosem Film verursacht also eine ca. 6,3 mal höhere Eintrittsdosis als eine sogenannte Standardaufnahme.

Die Eintrittsdosis an der Handgelenksoberfläche bei einer tomographischen Untersuchung mit 6 Schichten und hypozykloidalen Verwischung beträgt:

1690 $\pm$ 30 mR (Aufnahmeparameter: 40 kV, 250 mAs)

Eine solche Untersuchung verursacht also eine ca. 28 mal höhere Strahlenbelastung als eine Standardaufnahme.

Tab. 1 Eintrittsdosis

<u>Aufnahmetechnik</u>	<u>Aufnahmeparameter</u>		<u>Eintrittsdosis</u>
	keV	mAs	mR
SE-Folie (SE 1, einseitig, Fa. Cawo)	50	20	60
Mammographiefilm (Definix, Fa. Kodak)	60	100	380
Farbfilm (Medichrome ^R Fa. Agfa, hochverstärkende Folie)	40	10	25*
Tomogramm (6 Schichten)	40	250	1680
Vergrößerung mit Universalfolie	40	20	50*
mit SE 1-Folie	58	40	160*
Xeroradiogramm	125	12	280*
* errechnete Werte			

2. Streustrahlungsdosismessungen

Die Streustrahlungsdosis beträgt in Gonadenhöhe (unter Tischniveau) bei einem Objektstand von 60 cm ohne Bleischürze für eine Standard-Aufnahme: 3 μ R

Mißt man in 60 cm Entfernung bei einem Winkel von 90° zum Nutzstrahlbündel (also auf Tischniveau) beträgt die Streustrahlungsdosis 17 μ R.

Bei einer Aufnahme mit folienlosem Film erhöht sich dieser Wert auf 250 μ R.

Tab. 2 Unterschiedliche Aufnahmetechniken im Vergleich

Aufnahmeverfahren	Eintrittsdosis	Kosten (Filmmaterial)	Bemerkungen
SE-Film	60 mR	18 x 24 cm: 1,34 DM	Findet Anwendung in der Röntgenroutine, geringe Strahlenbelastung, ökonomisch, einfache Handhabung
Materialprüffilm (Mamographiefilm)			Erhebliche Mehrinformation, brillante Bilder, einfache Handhabung, hohe Strahlenbelastung - daher nur in speziellen Fällen indiziert Definix ist Mamoray in der Bildaussage überlegen
Kodak: Definix	380 mR	18 x 24 cm: 3,32 DM	
Agfa: Mamoray	340 mR	18 x 24 cm: 4,02 DM	
Medichrome	25 mR	18 x 24 cm: 1,30 DM	Keine Vorteile gegenüber Standard-SF-Film
Tomographie (6 Schichten)	1690 mR	24 x 30 cm: 2,17 DM	Untersuchungsverfahren mit derzeit maximaler Aussagekraft, sehr hohe Strahlenbelastung, sehr zeitaufwendige Untersuchung
Vergrößerungsaufnahme			Gegenüber einer Standardaufnahme etwas mehr an Information, Strahlenbelastung und Einstellaufwand. Heute auf Grund der Möglichkeiten folienloser Filme ungebrauchlich
SE-Folie	160 mR	18 x 24 cm: 1,34 DM	
Universalfolie	50 mR		
Xerographie	280 mR		Gute Darstellung der Knochenbalkchenstruktur, teuer, heute außer Gebrauch.

Stand: 1983

4. Projektionsverfahren zur vollständigeren Darstellung der Knochen des Handgelenkes

In den vorangegangenen Kapiteln wurde ein Überblick gegeben über die technischen Möglichkeiten in der Röntgendiagnostik die Bildaussage einer Röntgenaufnahme zu verändern. Dabei wird Mehrinformation meist durch erhöhte Strahlenbelastung und größeren apparativen und zeitlichen Aufwand erreicht.

Zusätzliche Information kann der Radiologe aber auch durch zusätzliche Projektionen erhalten. Diese Zielaufnahmen bieten durch den veränderten Blickwinkel gegenüber den Standardprojektionen ein zusätzliches Bild eines Skelettabschnittes. Im Bereich des komplexen Handgelenkes wird dann vom Radiologen eine fundierte Kenntnis der Anatomie sowie ein erhöhtes Maß an räumlichem Vorstellungsvermögen gefordert, damit er sich auch unter diesen veränderten Aspekten noch orientieren und zurechtfinden kann. Daher ist gerade bei zusätzlichen Aufnahmen korrektes Positionieren bei festgelegten Projektionsrichtungen nötig, damit diese Aufnahmen standardisiert und auch reproduzierbar sind.

In den folgenden Kapiteln wird eine Zusammenfassung gegeben, über die für die Handgelenksröntgendiagnostik beschriebenen Projektionen. Sie sind in erster Linie für die Frakturdiagnostik von Bedeutung.

Um einen Überblick zu erhalten, wie häufig knöcherne Verletzungen an einzelnen Handwurzelknochen sind, haben wir die Röntgenbefunde unserer Abteilung aus den Jahren 1978-1981 durchgesehen.

Die Häufigkeit von Frakturen verschiedener Handwurzelknochen verteilte sich wie folgt:

Tab. 3

121	Os scaphoideum-Frakturen
39	Os triquetrum-Frakturen
7	Os lunatum-Frakturen
6	Os capitatum-Frakturen
4	Os pisiforme-Frakturen
5	Os hamatum-Frakturen
4	Os trapezium-Frakturen
2	Os trapezoideum-Frakturen

In nachfolgender Tabelle sind unsere Zahlen denen anderer Veröffentlichungen gegenübergestellt.

Tab. 4 Übersicht über die Häufigkeit von Frakturen der Handwurzelknochen

	Böhler (1936)	Gatterer... (1981)	Borgeskov... (1966)	Snodgrass... (1937)	Fröhring... (1972)	Dunn (1972)	Eigene Summe (1982)
Scaphoid	424	179	102	144	74	59	121 1103 = 62,11 %
Triquetrum	108	199	29	7	33	5	39 420 = 23,65 %
Trapezium	21	14	5	3	10	2	4 59 = 3,32 %
Lunatum	21	11	2	11	5	1	7 58 = 3,27 %
Hamatum	18	8	1	1	9	4	5 46 = 2,59 %
Pisiforme	22	7	1	1	8	1	4 44 = 2,48 %
Capitatum	7	5	2	2	5	0	6 27 = 1,52 %
Trapezoideum	6	8	1	1	1	0	2 19 = 1,07 %
Summe	627	431	143	170	145	72	188 1776

4.1. Os scaphoideum

Das Os Scaphoideum wird im deutschen Sprachgebrauch noch Navikulare genannt. Hier wird bewußt die neuere Nomenklatur verwendet.

Frakturen

Scaphoidfrakturen können nach der Bruchlokalisation in vier Gruppen eingeteilt werden:

Tab. 5

	Mettler (1982)	Mettler (1975)	Russe (1960)
Tuberculumfrakturen	9,5 %	9 %	
Frakturen im distalen Drittel	12,0 %	15 %	10 %
Frakturen in der Mitte (Taille)	65,5 %	59 %	70 %
Frakturen im proximalen Drittel	13,0 %	17 %	20 %

Bei Frakturen des Tuberculum ossis scaphoidei muß zwischen intra- und extraartikulären Brüchen unterschieden werden, wobei diese Frakturen insgesamt wenig therapeutische Probleme bereiten.

Bis heute ist die Scaphoidpseudarthrose nicht aus den chirurgischen Ambulanzen verschwunden, wenn gleich sie auf Grund diagnostischer und therapeutischer Fortschritte seltener geworden ist. In unserer Abteilung wurden in den Jahren 1978-1981 neben 121 frischen Scaphoidfrakturen 74 Pseudarthrosen diagnostiziert (die hohe Anzahl erklärt sich unter anderem aus der gutachterlichen Tätigkeit unserer Abteilung). Auf Grund der speziellen Verhältnisse bei der Blutversorgung des Scaphoid nimmt die Pseudarthrosenrate zu, je proximaler der Bruchspalt liegt: 36 % bei Lokalisation im proximalen Drittel, 20 % bei Lokalisation im mittleren Drittel, 0 % wenn der Bruchspalt sich im distalen Drittel befindet (27).

Man kann die Scaphoidfrakturen aber auch entsprechend dem Verlauf des Bruchspaltes einteilen in:

Tab.6

		Russe	Trojan
Horizontale Schrägbrüche		47 %	35 %
Querbrüche		50 %	60 %
Vertikale Schrägbrüche		3 %	5 %

Dabei gelten die vertikalen Schrägbrüche bislang wegen ihrer ungünstigen mechanischen Faktoren als problematisch und langwierig in der Therapie. Bei korrekter Immobilisation und rechtzeitiger Diagnose liegt die Pseudarthroserate aber nicht über der anderer Bruchformen, womit sie keine Indikation zur offenen Fixierung mehr sind (98).



Abb.30 Scaphoidfraktur

Projektionen

Die Scaphoidfraktur ist nicht nur die häufigste knöcherne Verletzung eines Handwurzelknochens, sondern immer noch eine häufig übersehene Verletzung (98, 114, 139). Daß die Standard-Röntgenroutine des Handgelenkes in zwei Ebenen gerade für die Diagnostik im Bereich des Scaphoid nicht ausreicht, wurde früh erkannt (38, 78). Bald wurden zusätzliche Projektionen beschrieben (Mc Bride 1926, Schneck 1930, Jacobsen 1933, Stecher 1937, Perschl 1938, Lewis 1943).

Für die Darstellung des Scaphoid hält Schneck (1930) es für am zweckmäßigsten, das Handgelenk in leichter Dorsalflexion und Ulnarabduktion aufzunehmen und empfiehlt dazu die geballte Hand auf die Filmkassette zu legen. Es ist Stecher (1937), der dieses Vorgehen (Dorsalflexion) anatomisch durch die Lage des Scaphoid erklärt: Da die überwiegende Mehrheit der Scaphoidfrakturen Querbrüche im mittleren Teil des Knochens sind, also mehr oder weniger senkrecht zur Längsachse des Scaphoid verlaufen, das Scaphoid aber bei flach aufgelegter Hand in seiner Längsrichtung nach volar gekippt ist und sich daher in der p-a Aufsicht sogar verkürzt projiziert, kann der Zentralstrahl den Frakturspalt nicht parallel treffen.

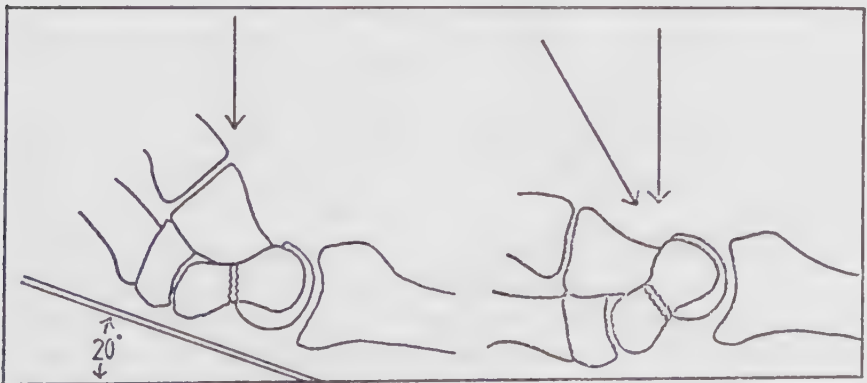


Abb. 31

Um das Scaphoid waagrecht zu stellen, schlägt Stecher vor, entweder den distalen Teil der Hand um 20° gegen die Filmkassette zu elevieren bzw. den Zentralstrahl um 20° distalwärts zu kippen oder die Hand zur Faust zu schließen.

Da sich das Scaphoid bei der Ulnarabduktion ebenfalls aufrichtet, sind Dorsalflexion und Ulnarabduktion im Handgelenk zur möglichst orthograden Projektion des Scaphoid notwendig.

Gleichfalls durch die anatomische Lage des Scaphoid begründen sich die schrägen Aufnahmen, die von Mc Bride, Jacobsen, Perschl, Lewis u.a. für die Darstellung des Scaphoid vorgeschlagen wurden. Die entscheidende Arbeit hierzu lieferte Perschl 1938.

Unter schräger Aufnahme versteht man Projektionen, bei denen der radiale Aspekt des Handgelenkes um einen Winkel zwischen 10° und 80° eleviert ist, also die Hand aus der flachen Ausgangsposition supiniert wurde.

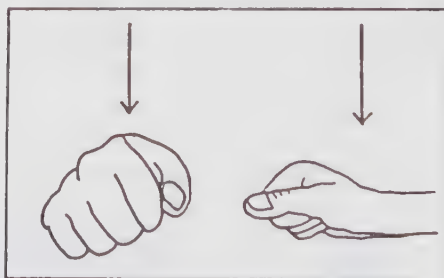


Abb.32

Schrägaufnahme, 45° Supination
von vorne von der Seite

Da das Scaphoid auf der radialen Seite um das Capitatum quasi herumgewunden ist, um deshalb mit seinem distalen Teil palmarwärts zu liegen, bilden schräge Aufnahmen (schräg: da man ja statt zu Suppiniieren auch den Zentralstrahl schräg seitlich auf das Handgelenk fallen lassen könnte) speziell den distalen Teil des Scaphoid mit

Trapezium und Trapezoideum korrekter p-a ab als die eigentliche p-a Aufnahme. Auch diese Aufnahmen sollten auf Grund des vorher Gesagten mit leichter Dorsalflexion und Ulnarabduktion gemacht werden. Über den Winkel der thenar-seitigen Anhebung des Handgelenkes bei diesen schrägen Aufnahmen herrscht keine Einigkeit. Im allgemeinen wird ein Winkel von 45° angegeben (52, 88, 101, 104, 106), wobei Russe (108) 15° bis 20° vorschlägt, für unklare Fälle mit der Vermutung auf einen vertikalen Schrägbruch sogar zusätzliche Aufnahmen bei 50° , 60° , 70° , 80° Supination. Russe war es auch, der mit Trojan (108, 128) noch eine Projektion in leichter Pronation (15° bis 20°) empfiehlt, d.h. das Handgelenk wird ulnarseitig leicht erhöht, wodurch die proximal des Daumenballens befindliche Gegend des Radialis pulses unmittelbar der Filmkassette anliegt.

Die Angaben über das Maß der Ulnarabduktion bei all diesen Aufnahmen sind unterschiedlich. So sollte die Ulnarabduktion nach Russe bei frischen Brüchen 10° nicht überschreiten, um eine Distraction der Fragmente zu vermeiden, während Weller (139) sogar eine gehaltene Aufnahme in maximaler Ulnarabduktion vorschlägt, um eine evtl.

Radialabduktion

Ulnarabduktion

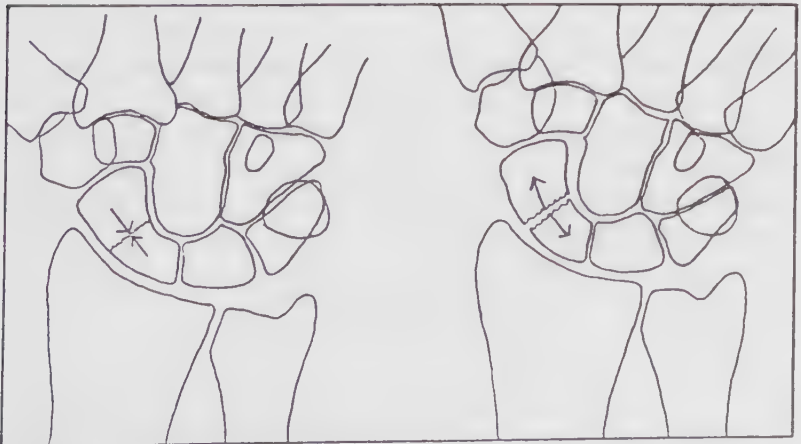


Abb. 33

feine Frakturlinie etwas zu öffnen. Oft wird der Bewegungsumfang allerdings schon durch die klinische Symptomatik eingeschränkt.

Es wurden weitere Aufnahmetechniken für das Scaphoid vorgeschlagen, z.B. eine Kombination aus den besprochenen Positionsmöglichkeiten (Stecherposition + schräge Aufnahme + Ulnarabduktion): Das volar flach aufgelegte Handgelenk wird 30° supiniert, soweit als möglich ulnarabduziert und der auf die Tabatiere gerichtete Zentralstrahl um 20° nach vorne geneigt, um von distal auf das Handgelenk zu treffen (Ziter (149)). Eine Variation gibt Clark (24) an.

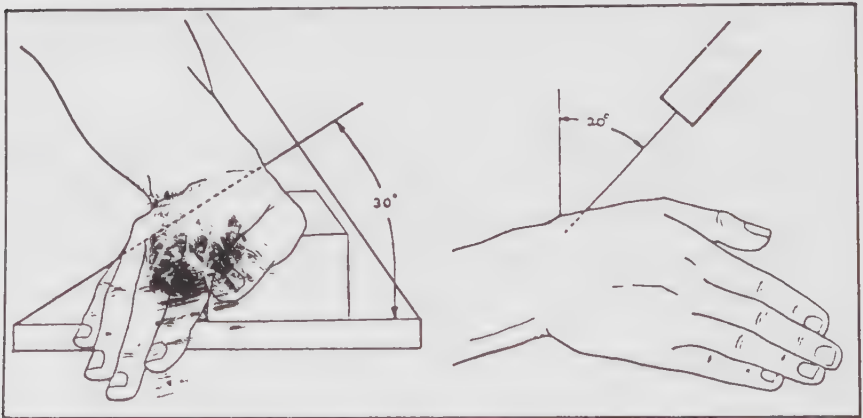


Abb.34

Meschan empfiehlt zur Darstellung speziell des mittleren Drittels des Os scaphoideum eine Aufnahmetechnik, bei der die Röhre um 45° gekippt ist und der Zentralstrahl auf der Winkelhalbierenden zwischen Daumen und Zeigefinger einfällt. Die Hand ist volarseitig aufgelegt, Daumen und Zeigefinger gespreizt. Das Bild ist verzerrt, zeigt aber gut den mittleren Teil des Os scaphoideum (89, 90 vgl. 38).

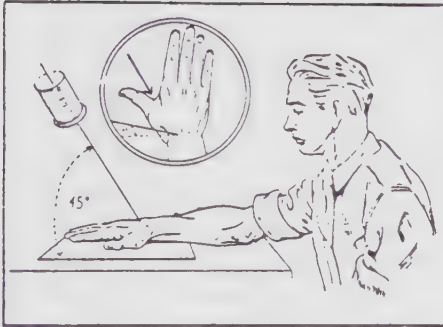


Abb.35

Eine halbaxiale Darstellung des Os scaphoideum erhält man bei der Carpal-Brückenaufnahme. Die stark gebeugte Hand wird mit dem Handrücken auf die Filmkassette gelegt, dabei sollte dann der Unterarm einen rechten Winkel mit der Kassette bilden. Der um 45° geneigte Zentralstrahl fällt tangential zum Handgelenksrücken ein.

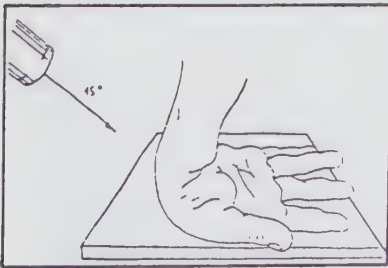


Abb.36

Tab.7 OS SCAPHOIDEUM-DARSTELLUNG

PROJEKTION	ERSTBESCHREIBER	ZEIT	INDIKATION
Hyperpräparierte Aufnahme	Jacobsen	1933	Frakturen spez. Querfrakturen
seitlich ulno radial	Stecher	1937	Scaphoid näher am Film, dadurch schärfer
Stecher-Position (p-a mit Faustschluß od. Röhre 20° geneigt od. Hand distal 20° angehoben)	Stecher	1937	Scaphoid und damit Buchspalt wird senkrecht zum Film gestellt.
Drehaufnahme (p-a, 45° schrägt) (Dorsal-Ulnar-Flexion)	Perschl (Erstbeschr. dieser Position Earl Mc Bride (1926)	1938	Spez. dist. + mittleres Drittel wird gut dargestellt.
Kahnbeinserie (p-a, latral, 15°-20° Sup., 15°-20° Dron.)	Russe	1960	Diagnostik-Routine
Aufnahmeserie in starker Supination (90°) 80° 70° 60° 50°	Russe	1960	Zur spez. Darstellung der vertikalen Schrägbrüche
Spezieller Blick "mittleres Drittel" (Röhre 45°, Zent.St. von seidl.-vorne)	Meschan	1951	Spez. Darstellung des mittleren Drittels
Carpal Brücken-Aufnahme	Lentino et.al.	1957	Frakturen spez. proximal, dorsal
Modifizierter Blick (30 Supp. Röhre 20° von dist. max. Ulnarabduktion)	Ziter	1973	Gute Übersicht über den ganzen Knochen, Beurteilung von Durchbauung etc.
Gehaltene Aufnahme in Ulnarabduktion	Weller	1981	Eröffnung einer feinen Frakturlinie

4.2. Os triquetrum

Frakturen

Frakturen des Os triquetrum sind die zweithäufigste, wenn nicht sogar häufigste (43) knöcherne Verletzung eines Handwurzelknochens. In unserem durchgesehenen Krankengut kamen allerdings auf eine Triquetrumfraktur drei Scaphoidfrakturen. Man unterscheidet zwei Arten von Os triquetrum-Frakturen:

- I. Frakturen des Dorsum
- II. Frakturen des Körpers

Dabei macht die erste Gruppe in Form von Ausrißfrakturen (Avulsionsfrakturen) über 90 % aller Triquetrumbrüche aus (80).



Abb. 37



Abb. 38

Typische Os triquetrum-Fraktur: In der p-a-Aufnahme selten zu erkennen, die seitliche Aufnahme zeigt den dorsalen Ausriß.

Die ausgesprengten Stücke einer dorsalen Os triquetrumfraktur können einzeln oder multipel sein, von einem Millimeter bis zu einem Zentimeter Größe (80). Diese Fraktur tritt auch in den späten Stadien einer perilunären Luxation auf (16), weshalb diese Ausrißfrakturen das einzige Zeichen einer vollen perilunären Dislokation sein können (65). Meist kommt es aber zu diesen Avulsionsfrakturen am dorsalen Os triquetrum durch einen Sturz auf die hyperextendierte, ulnarabduzierte Hand, bei dem das Os hamatum ein Stück aus dem Rücken des Os triquetrum abschert. Auch der Sturz auf die volarflexierte Hand kann durch einen Ausriß des dorsalen Radius-Triquetrum-Bandes (dR-T-B) zu einer solchen Absprengung führen. Diese Frakturen können mit einer Fraktur der dorsalen Gelenkklippe des Radius kombiniert sein (43).



Abb. 38

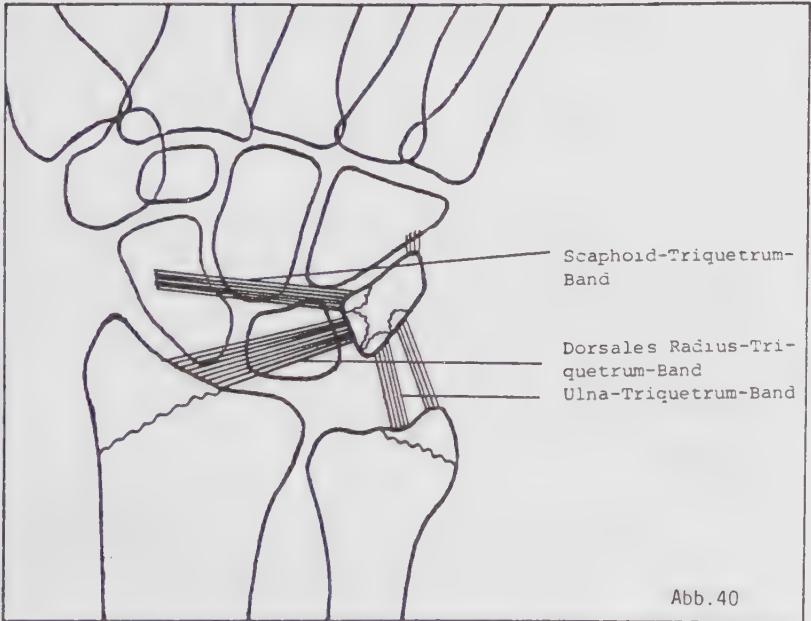


Abb. 39

Fraktur des Triquetrumkörpers

Ebenfalls durch Bandzug kann der (seltene) knöcherne Ausriß des lig.coll.ulnare aus der Tuberositas vorkommen, häufiger ist aber der Abriß des proc.styl.ulnae (12, 80).

Ausrißfrakturen am Os triquetrum



Die Frakturen des Körpers sind oft durch direktes Trauma verursacht, aber auch Kompression zwischen Hamatum, Radius, Ulna und Pisiforme (12), wie auch Zugkräfte der starken Bänder mögen hier eine Rolle spielen (65).

Projektionen

Beschriebene Projektionen zur Darstellung des Os triquetrum:

posterior - anterior
posterior-anterior mit Radialabduktion (80)
lateral
schräg 45° Supination, 45° Pronation

Die dorsalen Ausrißfrakturen sieht man am besten auf einer streng lateralen Aufnahme, jedoch fällt oft eine genaue Abgrenzung zu einem Abriß des hinteren Hornes vom Lunatum schwer. Eine schräge Aufnahme, am besten bei 45° Pronation der seitlich aufgelegenen Hand, projiziert die Schatten von Lunatum und Triquetrum voneinander frei und läßt so eine Lokalisation der Bruchfragmente meist zu. Diese dorsalen Absprengungen sind in der p-a-Projektion so gut wie nie zu sehen, dafür stellen sich feine Fissuren im Bereich des Körpers in dieser Projektion dar. Man kann versuchen durch Radialabduktion einen Teil des Os triquetrum vom Schatten des dahinterliegenden Os pisiforme freizuprojizieren (80).

Die Brüche des Körpers zeigen oft nur sehr feine Fissurlinien und sind oft mit einem dorsalen knöchernem Ausriß kombiniert, sie werden daher oft übersehen; jedoch scheint es hier nicht zur Knochennekrose oder Pseudarthrose zu kommen (16).

4.3. Os trapezium

Frakturen

Das Trapezium, früher Multangulum maius genannt, steht an dritter Stelle der Häufigkeitsverteilung von Frakturen der Handwurzelknochen. Insgesamt wird es doch recht selten knöchern verletzt (3); unter 1776 erfaßten Frakturen des Handgelenkes fanden sich nur 59 Trapeziumbrüche, das entspricht einem Anteil von 3,3 % an den Frakturen der Handwurzelknochen (vgl. Tab. 1).

Es sind verschiedene Formen der Trapeziumfraktur beschrieben (3, 16, 28, 41, 103, 143):

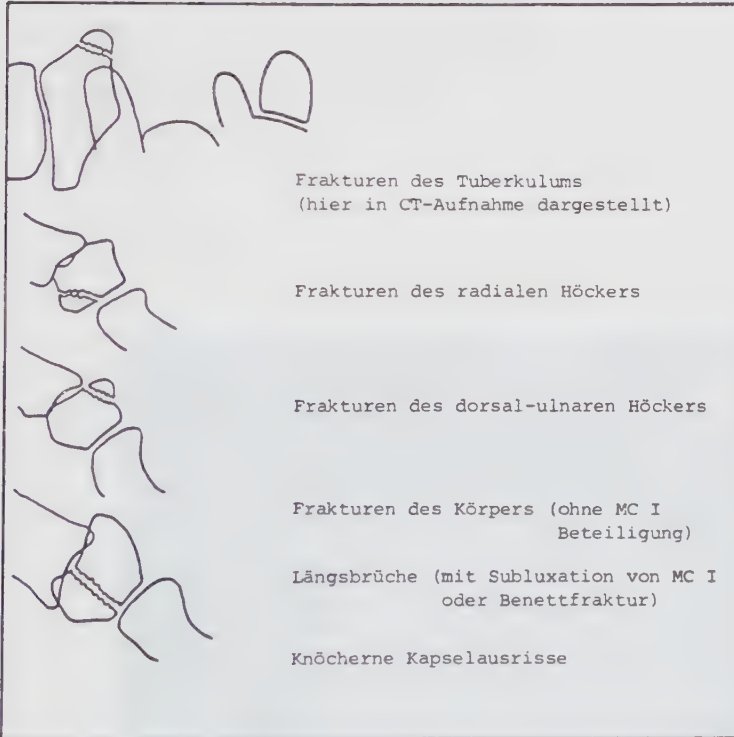


Abb. 41

Die ersten drei (seltenen) Frakturformen sind Folge eines direkten Traumas (103); von diesen kann die Tuberkulumfraktur ein Carpal tunnel-syndrom verursachen (86).

Die Fraktur des radialen Höckers mag bedingt sein durch eine Kompression des Trapezium zwischen MC I und proc.styl.radii beim Sturz auf die hyperextendierte, radialabduzierte Hand (28).

Am bedeutendsten und häufigsten sind die Längsfrakturen, die durch Kraftfortleitung über den Daumen bei einem Stoß oder Sturz entstehen. Dabei wird das radiale Fragment durch Bandzug meist nach radial disloziert und MC I ist subluxiert und evtl. frakturiert (Benettfraktur). Diese Frakturen, bei denen das Daumensattelgelenk betroffen ist, müssen (gegebenenfalls operativ) genauestens anatomisch reponiert werden, da athrotische Veränderungen (Rhizarthrose) eine häufige Folge von unphysiologischen Verhältnissen in diesem Gelenk sind.



Abb. 42

Auch knöcherne Bandausrisse kommen vor, z.B. durch Verdrehen des Daumens.

Projektionen

Aufgrund der engen topographischen Beziehung des Trapezium zum Scaphoid gilt vieles dort Gesagte auch für das Trapezium. Das Os trapezium ist der Knochen des Handgelenkes, der am weitesten volarwärts aus der radial-ulnaren Ebene herausgedreht ist, um durch diese Lage die Oppositionsstellung des Daumens zu den anderen Fingern, Voraussetzung für jedes Greifen mit der Hand, zu ermöglichen. Deshalb ist im dorso-volaren Strahlengang das Trapezium auch durch die Schatten von Trapezoideum und Os Metacarpale II teilweise überlagert, auch im seitlichen Bild wird das ulnare Viertel durch den Haken des Hamatum überdeckt (28). Auf der Suche nach einer besseren Darstellung des Daumensattelgelenkes zur frühzeitigen Diagnose einer Arthritis beschreibt Robert (1936) (Zitat von 72) zum ersten Mal den Wert einer Aufnahme in sogenannter forcierter Pronation, die zuerst von Jacobsen 1933, allerdings als Beitrag zur Scaphoid-Diagnostik, angegeben wurde.

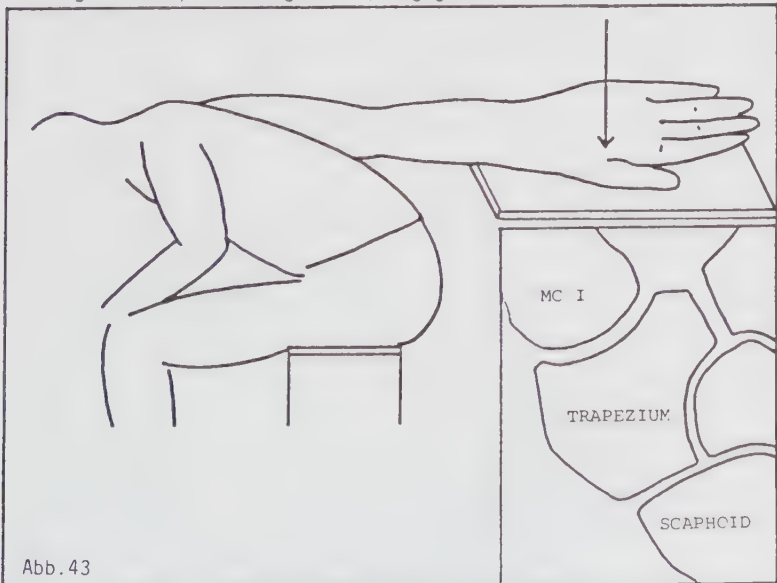


Abb. 43

Der Patient sitzt dabei weit vornüber gebeugt, und legt bei durchgestrecktem Arm, die Hand so dem Film an, daß Daumen und Zeigefinger die Kassette berühren.

Poigenfürst (103) nennt 1959 die 1938 von Perschl (101) beschriebene Drehaufnahme für das Scaphoid (volar aufgelegte Hand wird 45° suppi niert, ulnarabduziert und dorsalflektiert) zur Darstellung des Os trapezium, speziell des dorsal-ulnaren Fortsatzes. Ein Jahr später sind L.J. Cordrey und M. Ferrer-Torells der Meinung, die Zufriedenstellendste Projektion sei eine ähnliche schräge Aufnahme, nur daß die Hand 70° suppi niert werden sollte (20° Pronation von seitlicher Position aus) (28). Diese schrägen Aufnahmen bilden das Trapezium, im Gegensatz zu einer dorso-palmar Standardaufnahme, korrekt p-a ab, ohne Überschneidungen mit den Nachbarknochen.

Mit der Carpaltunnelaufnahme nach Hart und Gayoner (55) lassen sich Frakturen speziell im palmar distalen Teil des Trapezium (Tuberkulum) darstellen. Diese Frakturen können sogar Ursache eines Medianus-Kompression-Syndroms sein (86, 16).

Eine Variation dieser Aufnahmeposition ist die Carpaltunnelaufnahme mit radialwärts gekippter Hand. Diese Position demonstriert im Besonderen den dorsal-ulnaren Fortsatz des Trapeziums, und das Sattelgelenk des Daumens, besonders wichtig zur Diagnose einer Subluxation von MC I und einer beginnenden Arthritis (18).

Tab.9 OS TRAPEZIUM-DARSTELLUNG

Spezialaufnahmen

PROJEKTION	ERSTBESCHREIBER	ZEIT	INDIKATION
Hyperpronierte Aufnahme (Aufnahme in forcierter Pronation)	Robert (Erstbeschr. dieser Position Jacobsen 1933)	1936	Keine Überlagerungen, Trapezium nahe am Film
Drehaufnahme (45° sup. Dorsal + Ulnarflexion)	Poigenfürst (nach Perschl)	1959	wie oben, praktikable Technik
Schräge Aufnahme (70° Sup. bzw. 20° Pron. von seitl. Pos. aus)	CORDREY; FERRER-TORELLS	1960	Beste Aufsicht auf den Knochen
Carpal-Tunnel-Aufnahme	HART + GAYNOR	1941	Frakturen des volaren Tuberculum
Carpal-Tunnel-Aufnahme Handgelenk zusätzlich radial- seitig gekippt 45°	BURMAN	1958	Darstellung des Daumensattelgelenkes und des dorsal-ulnaren Fortsatzes

4.4. Os hamatum

Frakturen

Man unterscheidet drei Formen von Hamatumfrakturen (41, 93):

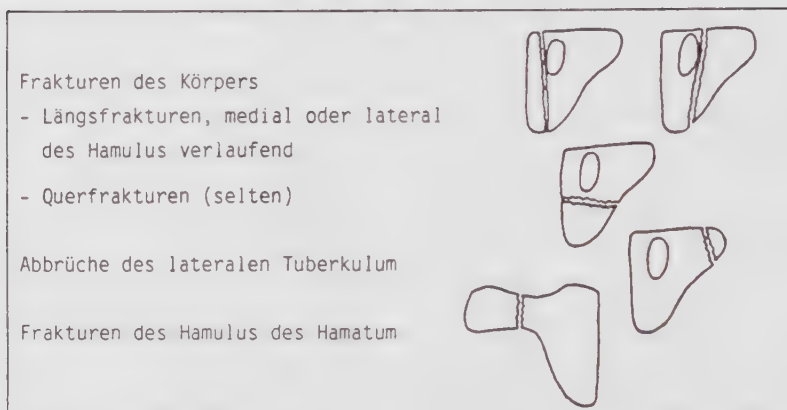


Abb. 44

Wie schon aus der zahlreichen Literatur ersichtlich, ist die Fraktur des Hamulus ossis hamatum keineswegs selten, wahrscheinlich sogar viel häufiger als Frakturen des Körpers, nur leider auch mit guten Röntgenaufnahmen genauso häufig übersehen (16). Die Fraktur des Hamulus ist eine typische Verletzung von Sportlern, die einen Griff in der Hand haben, wie z.B. Tennisspieler, Golfer, Baseballspieler etc.. Verbunden mit übermäßigem Muskelzug (m. flexor carpi ulnaris) und Schlagwirkung des Griffes (bei mißglückter Bewegung) kann der palmarwärts ragende Hamulus dann frakturieren. Die Gefahr einer Nichtheilung der Fraktur besteht. Bei diesen Frakturen kann

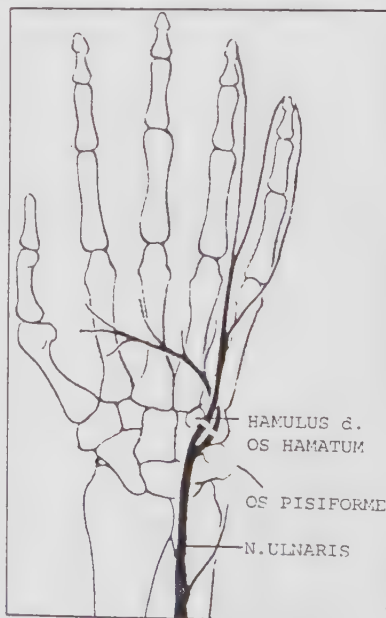


Abb. 45

es zu Irritationen des tiefen Astes des Nervus Ulnaris kommen (Syndrome de la Loge de Gyon). Diese Tatsache kann diagnostisch hilfreich sein (43).

In seltenen Fällen mag eine übersehene und nicht ruhiggestellte Fraktur dieses Hamulus eine Ruptur der tiefen Fingerbeugesehnen verursachen (25, 29).

Von den beschriebenen Frakturen ist wohl die Fraktur des lateralen Tuberkulums am häufigsten. Unter unseren fünf Os hamatum-Frakturen war eine Längsfraktur, die übrigen vier waren Abrisse des lateralen Tuberkulums.

Projektionen

Frakturen des Körpers vom Hamatum stellen sich, wenn überhaupt, in der p-a Aufnahme dar. Die seitliche Aufnahme ist wegen der vielen Überlagerungen wenig hilfreich, ebenso schräge Projektionen. Wir konnten eine Tuberkulumfraktur erst mit Hilfe einer gehaltenen Aufnahme in Radialabduktion diagnostizieren.



Abb. 46

Fraktur des lateralen Tuberkulums des Os hamatum. Die Fraktur wurde letztlich durch eine gehaltene Aufnahme in Radialabduktion diagnostiziert.

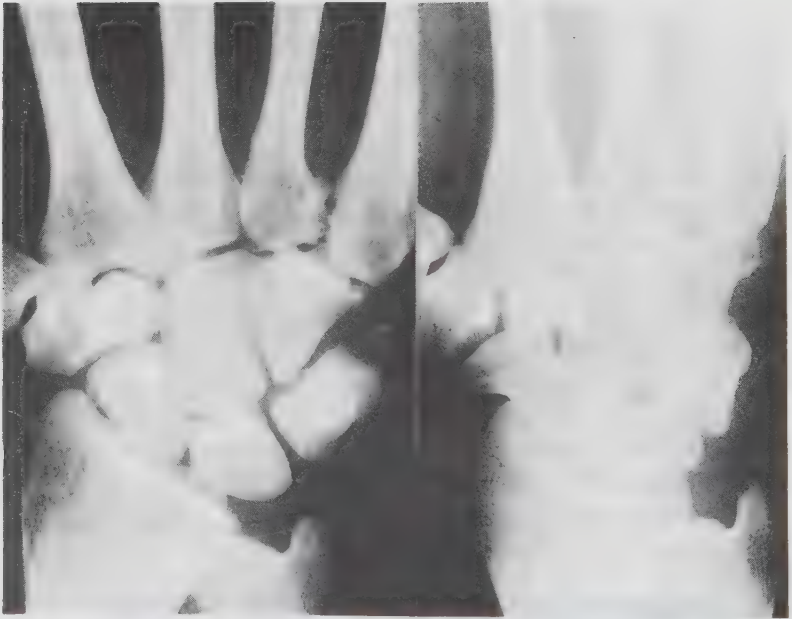


Abb. 47

Abb. 48

p-a und 45° Projektion: Tuberkulumfraktur am Os hamatum mit Fraktur der Basis von MC V. Diese Frakturkombination veranschaulicht den indirekten Mechanismus über den fünften Strahl.

Interessanter ist das Problem einer guten Darstellung des Hamulus ossis hamatum. Die Standardprojektionen sind unbrauchbar (99, 120), drei spezielle Aufnahmepositionen sind für die radiologische Abbildung des Hamulus beschrieben:

Projektionen zur Darstellung des Hamulus ossis hamatum

Carpaltunnelaufnahme (55)

Wichtig bei der Darstellung des Hamulus ist, daß die Hand keinesfalls ulnarwärts gekippt ist, sondern eher etwas radialwärts, damit keine Überschneidung mit dem Pisiforme zustande kommt (107).

schräge anterior-posterior Projektion

mit halber Supination (45°) und Dorsalflexion (99, 107, 120)

akroradioulnare Aufnahme (52)

Die seitlich aufgelegte Hand wird bei gestreckten Fingern und abgespreiztem Daumen radialabduziert. Der Zentralstrahl wird 20° zur Senkrechten geneigt und fällt von den Fingerspitzen her ein.

Tab. 10

Der Hamulus läßt sich auch mit seitlicher Tomographie darstellen (22). Der Verdacht auf eine Fraktur kann eine der wenigen Indikationen für diese Untersuchung sein. Sie ist aber keine zusätzliche Projektion und gehört nicht an diese Stelle.

4.5. Os pisiforme

Frakturen

Das Os pisiforme frakturiert aufgrund seiner relativ ungeschützten Lage am palmar-ulnaren Rand des Handgelenkes meist durch direkte Gewalteinwirkung (Auffall, Schlag, Quetschung) (41, 130, 143). Auch wird die Möglichkeit einer Frakturierung durch plötzlichen Muskelzug als Gegenwirkung zu einer gewaltsamen Hyperextension diskutiert.

Die Frakturen kommen isoliert oder kombiniert z.B. mit einer distalen Radius- oder Os triquetrumfraktur vor (130). Trümmerfrakturen des

Os pisiforme können assoziiert sein mit einer Avulsionsfraktur am Hamulus des Os hamatum, die durch den Sehnenzug am Lig. piso-hamatum entsteht (143).

Es gibt lineare Frakturen, die keinen Frakturlinienverlauf bevorzugen, Trümmerbrüche (nicht selten) und Ausrißfrakturen.



Abb. 49

Os pisiforme Fraktur



Abb. 50

Os pisiforme Fraktur, die nur in CT-Aufnahme sichtbar war

Projektionen

Die Standardprojektionen p-a und seitlich können nur wenig diagnostische Auskunft über das Pisiforme geben, da dieses in der p-a Aufnahme meist ganz im Schatten des Triquetrum liegt und seitlich oft nicht einmal abgrenzbar ist. Deshalb sind spezielle Projektionen beschrieben worden:

Tab. 11 Os pisiforme Darstellung

1. Schräge anterior-posterior-Aufnahme bei halber Supination:

Die seitlich aufgelegte Hand wird 45° supiniert, der Daumen kommt nach oben außen (76, 107). Für diese typische Spezialaufnahme des Erbsenbeines wird von anderen Autoren ein Winkel des Handrückens zum Film von 60°-80° angegeben, also nur eine schwache Supination von der seitlichen Aufnahme ausgehend (62, 130).

Diese steilere Projektion trägt dem Gelenkspaltverlauf des Pisis-Triquetralgelenkes mehr Rechnung und bildet es freier ab.

2. posterior-anterior-Aufnahme mit Ulnarabduktion

und leichter Elevation der Ulna durch 10° zusätzliche Pronation des Handgelenkes (130).

3. Seitliche Aufnahme ulno-radial

Der Oberkörper wird dazu meist nach vorn gebeugt, die Hand hyperproniert. Das Pisiforme wird leicht unscharf und etwas vergrößert abgebildet (52, 107).

4. Carpaltunnelaufnahme

Sie gibt eine Aufsicht von distal und stellt das Pisis-Triquetralgelenk dar (55). Der Patient extendiert die flach angelegte Hand nach dorsal, wo sie in maximaler Stellung fixiert wird. Der Zentralstrahl fällt von distal ein, ist um 30°-45° geneigt, so daß er einen Winkel von 25° zur Handfläche bildet, und ist ungefähr 2,5 cm distal der Basis des 4. Mittelhandknochens zentriert (120).



Abb. 51

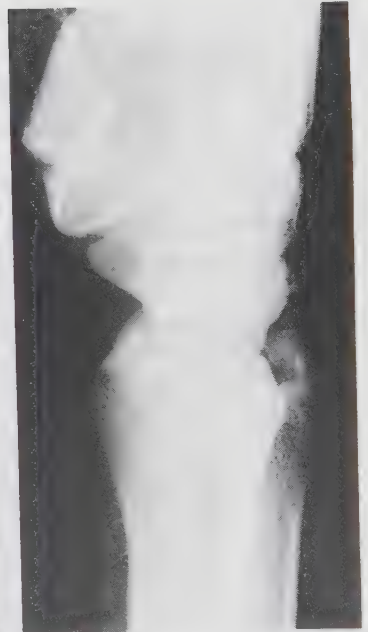


Abb. 52

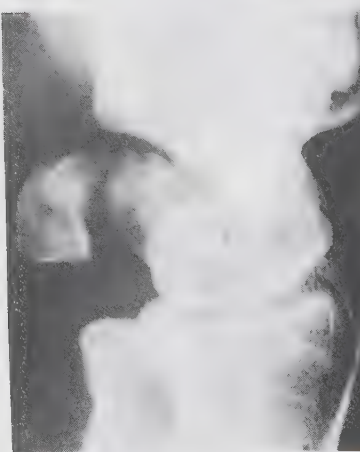


Abb. 53



Abb. 54

Der Patient hat zusätzlich zu einer Os pisiforme Fraktur eine distale Radius Fraktur (Abriß des proc.styl.radii) und eine Os triquetrum Fraktur. Nebenfund: Os triangulare

oben:	p-a, seitlich
unten re:	70° Aufnahme nach 1)
unten li:	Aufnahme nach 2)

4.6. Os lunatum

Frakturen

Neben Frakturen des Lunatumkörpers (Längs- oder Querfrakturen) gibt es Abrißfrakturen des vorderen und hinteren Hornes (10). Auch kann das interossäre Band zwischen Scaphoid und Lunatum knöchern am Lunatum ausreißen (ebenso natürlich auch am Scaphoid). Die häufigsten Frakturen werden aber vermutlich Kompressions- und Ermüdungsbrüche sein, die eine erhebliche klinische Bedeutung haben, da sie womöglich doch den wichtigsten Faktor in der Genese der Lunatummalazie darstellen (vgl. Kap. 8). Als zwischengeschaltetes Segment zwischen Radius und Capitatum in der longitudinalen Gelenkkette (49, 68) ist das Lunatum, besonders bei einer Minusvariante der Ulna, besonderen Belastungen in der Kraftübertragung zwischen Hand und Unterarm ausgesetzt. Die Bedeutung dieser Frakturen wird umso größer durch die Tatsache, daß sie erhebliche diagnostische Probleme bereiten. Lang (71) zertrümmerte Lunata mit dem Hammer und konnte die anschließend autoptisch gesicherten Frakturen im Röntgenbild selten erkennen.

Abb. 55



Os lunatum

Abb. 56



Lunatummalazie nach Os lunatum Fraktur

Eine wesentliche Bedeutung des Os lunatum liegt aber in seiner zentralen Rolle, die es bei komplexen Luxationsverletzungen spielt. Heilen die hierbei entstehenden Verletzungen des Bandapparates nicht vollständig aus, sondern bleibt eine Instabilität des Handgelenkes als Residuum bestehen, kann die röntgenologische Bestimmung der anatomischen Lagebeziehung des Lunatum wichtige diagnostische Hilfen bieten (vgl. Kap. 6).

Bei einer Lunatumfraktur kann eine Bruchstückdislokation nach volar zu einem akuten Medianuskompressionssyndrom (CTS) führen. Eine knöcherne Verletzung des Lunatum kann begleitet sein von einer zusätzlichen Luxationsverletzung, bisweilen mit Frakturen anderer Handwurzelknochen.

Projektionen

Die Diagnostik im Bereich des Lunatum geschieht mit der posterior-anterioren und seitlichen Aufnahme. Spezialaufnahmen sind nicht beschrieben. Bei nicht exakt lokalisierbarer dorsaler Absprengung kann die Differentialdiagnose eines Hornabrisses zu einem Triquetrumausriß durch eine schräge Aufnahme erfolgen. Zum Ausschluß einer knöchernen Einengung des Carpalkanals wird eine Carpaltunnelaufnahme angefertigt. Die Carpalbrückenaufnahme gibt eine tangentielle Projektion der dorsalen Oberfläche des Lunatum (74).

Im Bereich des Lunatum wird die Tomographie des öfteren zum Einsatz gelangen.

4.7. Os capitatum

Frakturen

Aufgrund der geschützten Lage sind Capitatumfrakturen selten, auch wenn, wegen der schwierigen röntgenologischen Darstellung eines Bruchspaltes und des nicht geschärften Interesses der Radiologen für diese Region, die Capitatumfraktur sicher unterdiagnostiziert ist und bisweilen übersehen wird (1, 43).

In der Regel ist der Bruchlinienverlauf horizontal (38), wobei der Kopf am "Nacken" abbricht. Selten kann es auch zu Schräg- bzw. Langsbrüchen kommen. Bei Capitatumfrakturen kommt es selten zu einer größeren Dislokation der Fragmente (143), solange es sich nicht um ein Scaphoid-Capitatum-Fraktur-Syndrom handelt.

Scaphoid-Capitatum-Fraktur-Syndrom

Die häufigste Begleitverletzung der Capitatumfraktur ist ein Bruch des Scaphoid. Bei dieser sehr seltenen Kombinationsverletzung frakturiert das Capitatum immer quer, wobei das proximale Fragment 180° in der Achse des Frakturverlaufes rotiert. Dieses Scaphoid-Capitatum-Fraktur-Syndrom stellt eine Sonderform einer perilunären Verrenkung dar, sozusagen eine De Quervain'sche Verletzung mit Capitatumfraktur.

Wir können von einem Fall berichten, bei dem sich zwar die typische 180° Rotation des proximalen Capitatumfragments fand, bei dem jedoch keine Scaphoidfraktur bestand.

Abb. 57

Abb. 58



Wenn das Scaphoid - Capitatum-Fraktur-Syndrom einer De Quervain'schen Luxationsfraktur entspricht, so stellt unser Fall eine "perilunäre

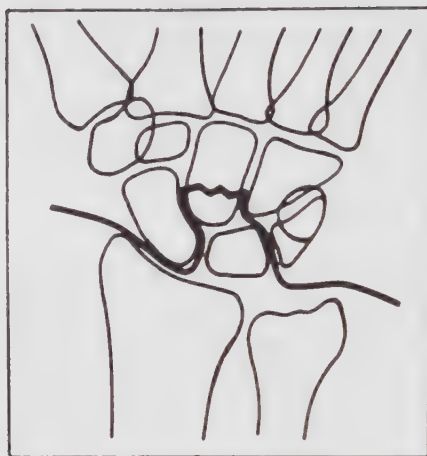


Abb. 59

Verrenkung" mit unreiner Verrenkungsline durch das Capitulum dar. Die Dislokationsverletzungen werden später in ihrer Gesamtheit erörtert.

Das Capitulum wird zwar durch zahlreiche Blutgefäße an der Tallie versorgt, da jedoch ein frakturierter Kopf von der Blutversorgung abgetrennt ist, besteht die Möglichkeit einer aseptischen Knochennekrose.

Projektionen

Die wichtigsten Projektionen zur Darstellung des Capitulum sind die anterior-posteriore und seitliche Standardaufnahme.

Die teilweise haarfeinen, bisweilen auch unvollständigen Frakturlinien werden oft erst bei einer Nachuntersuchung durch einen Resorptionsaum sichtbar.

Eine gehaltene Aufnahme unter Distraction soll einen eventuellen Bruchspalt erweitern und so sichtbar machen können, wie auch ein disloziertes bzw. rotiertes Fragment besser zeigen (1, 53).

4.8. Os trapezoideum

Frakturen

Das Trapezoideum frakturiert von allen Handwurzelknochen am seltensten. Unser Fall im speziellen zeigte eine Längsfraktur durch den gesamten Knochen. Das Os trapezoides secundarium ist als gesichertes akzessorisches Knöchelchen beschrieben (107), das zwischen Trapezoideum und Metacarpale II liegt. Bryan und Dobyns (16) vermuten auf Grund von arthrotischen Veränderungen des Trapezoideum-Metacarpale II-Gelenkes, daß dieses Knochenstückchen doch einer Avulsionsfraktur entspricht.

Projektionen

Spezielle Projektionen zur Darstellung des Trapezoideums sind nicht beschrieben. Auf Grund seiner schon etwas aus der p-a Ebene herausgedrehten Lage stellt es sich erfahrungsgemäß gut auf den halbpronierten Aufnahmen, wie für das Scaphoid und Trapezium beschrieben dar. Auch die Standard p-a Aufnahme kann in manchen Fällen hilfreich sein. Eine besonders scharfe Abbildung auch des Trapezoideums gelingt mit der hyperpronierten Aufnahme.

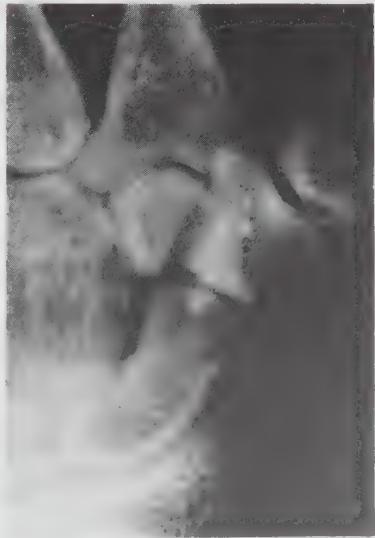


Abb. 60

5. Komplexe Dislokationsverletzungen und deren Kombinationen mit Begleitfrakturen

Überwindet eine Kraft den physiologischen Bewegungs- und Belastungsumfang des Handgelenkes resultiert entweder eine Fraktur oder eine Bänderzerreiung evtl. mit Verschiebung der Handwurzelknochen untereinander oder gar einer Kombination aus beidem.

Die Röntgendiagnostik muß hier verschiedenen Anforderungen genügen:

Der Umfang einer Verletzung muß so weitgehend aufgeklärt und klassifiziert werden, daß eine adäquate Therapie einsetzen kann. Das beinhaltet z.B. die Indikation zur offenen Reposition und Fixation; auch müssen Residuen älterer Verletzungen erkannt werden können, um so Spätfolgen zu verhindern.

Nach dem Überblick über mögliche Frakturen der Carpalknochen sowie ihre radiologische Darstellbarkeit durch verschiedene Projektionen soll jetzt eine Gliederung der mannigfaltigen Verletzungsmglichkeiten der Handwurzel mit primärem Bandschaden versucht werden. Es werden die radiologisch-diagnostischen Kriterien der Dislokationsverletzungen und Instabilitäten mit Hinblick auf eine optimale Behandlungsmöglichkeit des Verletzten beschrieben.

Tab.12 Komplexe Luxationsverletzungen mit Begleitfrakturen

1. Dorsale perilunäre, volare Lunatumluxation
2. Transscaphoidale perilunäre Luxationsfraktur (De Quervain)
3. Volare perilunäre, dorsale Lunatumluxation
4. Scaphoid-Capitatum-Fraktur-Syndrom
5. Diese Verletzungen können kombiniert sein mit:
 - Abriß des processus styloideus radii
(häufigste Kombinationsfraktur der perilunären Luxation)
 - Abriß des processus styloideus ulnae
 - Abriß beider processi
 - Triquetrumfraktur (meist ligamentäre Ausrisse)
 - Lunatum bzw. Hamatumfraktur (extrem selten)
6. Luxation des Carpus
 - nach volar
 - nach dorsal
 - häufigste Kombinationsfraktur: Abriß des proc.styl.radii
7. Luxation der Metacarpalköpfchen (selten, meist multipel)

5.1. Dorsale perilunäre, volare Lunatumluxation

Disloziert der Carpus gegenüber dem Lunatum und dem Radius nach dorsal, entsteht das Bild der sogenannten dorsalen perilunären Luxation. Diese häufigste Luxation entsteht durch einen dreidimensionalen Verletzungsmechanismus aus Hyperextension, Ulnarabduktion und intracarpaler Supination bei proniertem Unterarm (84). Z.B. bei Motorradunfällen und Stürzen aus großen Höhen. Wenn sich dieses Zustandsbild spontan so reponiert, daß das Capitatum mit dem übrigen Carpus an seinen angestammten Platz tritt, dabei das Lunatum nach volar luxiert wird, entsteht das Bild der volaren Lunatumluxation, wie dies oft bei Repositionsversuchen beobachtet wurde (143).

Diese zwei Situationen sind also nur die radiologischen Extremvarianten ein und derselben Verletzung, wobei es eben auch sämtliche Variationen zwischen diesen Extremen gibt, d.h. z.B. Capitatum nur leicht dorsal-disloziert, Lunatum nur teilweise volarflextiert. Radiologisch wird die Diagnose aus dem Seitenbild aufgrund der Verhältnisse von Capitatum zu Lunatum gestellt. Bei der dorsalen perilunären Luxation steht das Capitatum dorsal vom Lunatum, der proximale Pol des Scaphoid ist dorsalwärts rotiert.

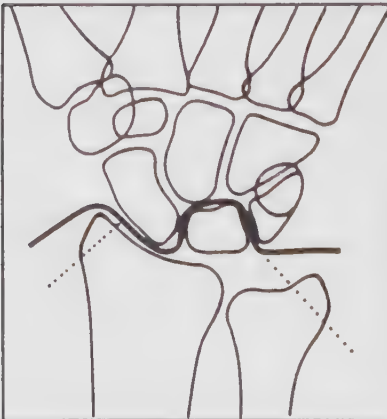


Abb. 61

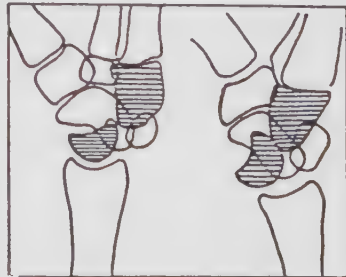


Abb. 62

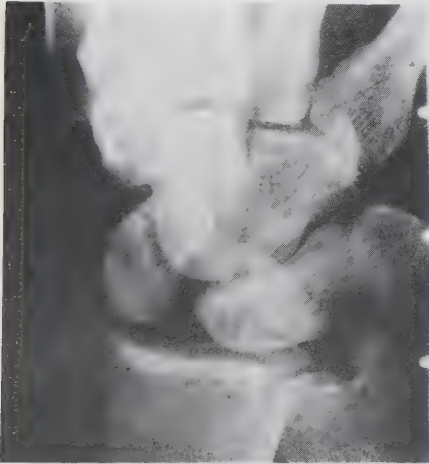
Dorsale peri-	volare
lunäre	Lunatum-
Luxation	Luxation

Bei dem Zustandsbild der volaren Lunatum Luxation artikuliert das Capitatum teilweise mit dem Radius, die distale Konkavität des Lunatum ist volarwärts gekippt, womit das Bild der "ausgeschütteten Teetasse" entsteht. Das Lunatum kann dabei bis zu 270° volarwärts in den Carpalkanal rotieren, weshalb die Lunatum Luxation oft von einem CTS begleitet ist.

Abb. 63 b



Abb. 63 a



Dorsale perilunäre Luxation

Abb. 63 d



Abb. 63 c

Kontrolle nach drei Wochen: Persistierende Scaphoid-Lunatum-Diastase (bis 1 cm), damit Bild einer Rotationssubluxation des Scaphoid (Scaphoid-Lunatum-Winkel: 72°).

Auch das p-a Bild birgt viele Hinweise auf die Diagnose:

Das Handgelenk ist oft verkürzt, der Gelenkspalt zwischen Scaphoid und Lunatum kann klaffen, ebenso können sich diese Knochen überschneiden. Jede "falsche" Überschneidung der Handwurzelknochen, speziell des Capitatum mit dem Lunatum sollte diese Verletzung vermuten lassen.

Abb. 64



Dorsal-radiale perilunäre Luxation

Abb. 64 c

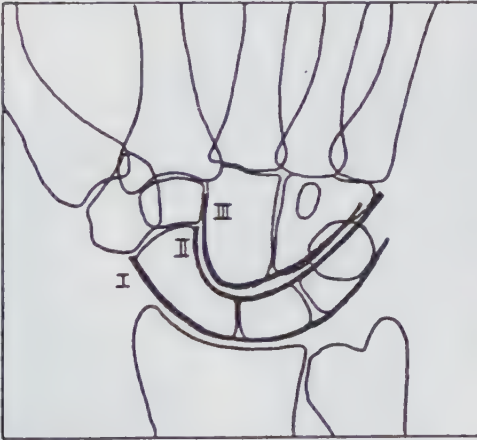
Abb. 64



Nach Repositionierungsversuch: Nun das typische Bild einer perilunären Lunatumluxation

Gilula (50) betrachtet als diagnostische Hilfe drei Bögen, die als gedachte Linie gezogen werden können:

1. Am Rand der proximalen Reihe entlang
2. Am distalen Rand der proximalen Handwurzelknochenreihe
3. Am proximalen Rand der distalen Handwurzelreihe.



Im Falle von Dislokationsverletzungen ist meist einer dieser Bögen "gebrochen" jedoch ist dies nicht obligat.

Abb. 65

Enthält eine perilunäre Luxationsverletzung eine gewisse Komponente Lunatumluxation, erscheint das Lunatum in der p-a Projektion nicht mehr trapezoidal, sondern gibt einen mehr dreieckigen Röntgenschatten.

5.2. Transscaphoidale perilunäre Luxationsfraktur (De Quervain)

Auf Grund seiner Brückenstellung zwischen der proximalen und distalen Reihe der Handwurzelknochen muß das Scaphoid, das in der Tat als Bestandteil beider Reihen anzusehen ist (36, 79), bei einer Dislokation des Capitatum hinter das Lunatum entweder rotieren und mit seinem proximalen Pol subluxieren oder frakturieren; eine Vorstellung, die von Destot 1925 zum ersten Mal erkannt wurde.

Frakturiert bei einer perilunären Luxation das Scaphoid, entsteht das Bild der perilunären, transscaphoidalen Luxationsfraktur, benannt nach De Quervain (früher "transnavikuläre Luxationsfraktur" genannt).

Hierbei disloziert der distale Teil des Scaphoid mit dem Capitatum und den anderen Handwurzelknochen nach dorsal, der proximale Pol bleibt mit dem Lunatum verbunden.

Abb. 66 b

Abb. 66 a



Transscaphoidale, perilunäre Luxationsfraktur (De Quervain)

Auch in dieser Situation kann es zu einer Lunatum-Dislokation nach volar kommen, dabei nimmt das Lunatum den proximalen Scaphoidpol mit, eine Verletzung mit schlechter Prognose.



Abb. 67 a

Abb. 67 b

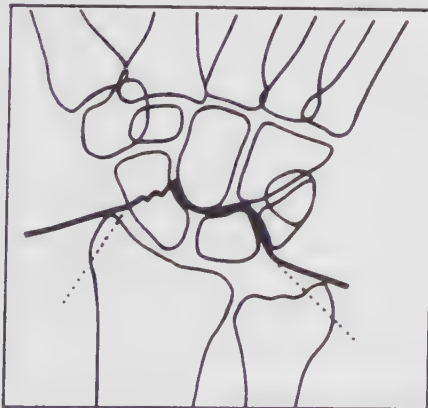


Abb. 68

Verrenkungsline bei
De Quervain'schen Verletzung

5.3. Volare perilunäre, dorsale Lunatumluxation Volare transscaphoidale perilunäre Luxation

Zu den drei beschriebenen Verletzungsbildern gibt es jeweils ein inverses Pendant: die volare perilunäre, dorsale Lunatumluxation und die volare transscaphoidale perilunäre Luxation. Die volare perilunäre Luxation ist sehr viel seltener als die dorsale; ein Grund, weswegen die Diagnose oft erst zu spät gestellt wird. Noch seltener ist die dorsale Lunatumluxation. Hierzu müssen ja die starken volaren Ligamente des Lunatum vorher, meist durch äußere Verletzung, durchtrennt sein. Radiologisch gelten die selben Kriterien, entscheidend ist die seitliche Aufnahme, die das Verhältnis von Capitatum zu Lunatum dokumentiert.

Bei der volaren transscaphoidalen Verletzung scheint die Dislokation der Scaphoidfragmente extremer zu sein, wodurch die Fraktur instabiler als bei der dorsalen Variante zu sein scheint (53). Überhaupt ist bei den transscaphoidalen perilunären Luxationsfrakturen die Scaphoidfraktur der limitierte Faktor für die Prognose. So besteht die große Gefahr der aseptischen Knochennekrose des proximalen Pols, deren Häufigkeit bei ungenügender oder zu später Reposition 100 % werden kann (135).

Deshalb besteht eine wichtige Aufgabe der Röntgendiagnostik in der exakten Überprüfung und Überwachung einer geschlossenen Reposition durch die Anfertigung genügend vieler Aufnahmen im Gips (p-a, seitlich und schräge Aufnahmen), da jede nicht anatomische Stellung nach geschlossener Reposition, besonders der Scaphoidfraktur eine Indikation zur offenen Reposition und Fixation ist (16).

5.4. Scaphoid-Capitatum-Fraktur-Syndrom

Eine weitere Kombination von Fraktur und Dislokation ist das Scaphoid-Capitatum-Fraktur-Syndrom, das man auch als transscaphoidale, transcapitäre, perilunäre Luxationsfraktur bezeichnen kann. Bei dieser seltenen Verletzung ist neben dem Scaphoid auch das Caputatum frakturiert.

wobei der proximale Capitatumpol 90° oder 180° rotiert ist, weshalb das Röntgenbild verwirren kann. Röntgenologisch gelingt dabei die Darstellung des frakturierten proximalen Pols am besten durch gehaltene Aufnahmen unter Längs-Zug (1, 53).

Unser eigener Fall, bei dem sich zwar die typische Rotation des proximalen Capitatumpols fand, hingegen keine Scaphoidfraktur bestand, ist ausführlich im Kapitel 4.7. dokumentiert.

Auch hier kann es zur aseptischen Knochennekrose des proximalen Fragments kommen, weshalb der Radiologe die anatomische Reposition wie auch den Heilungsprozeß überwachen muß.

5.5. Kombinationen mit möglichen Frakturen

Diese hier beschriebenen komplexen Verletzungen können zusätzlich von Frakturen anderer Knochen begleitet sein, was nicht nur von therapeutischer Relevanz sein kann, sondern auch diagnostisch eine bedeutende Hilfe darstellen kann.

Alle beschriebenen Dislokationsverletzungen können vorkommen in einer Kombination mit einem (einer)

Tab. 13

- | |
|--|
| <ul style="list-style-type: none">a) Abriß des processus styl. radiib) Abriß des processus styl. ulnaec) Abriß beider processid) Triquetrumfraktur (vgl. Fall von Wessely (141)) sind aber meist nur ligamentäre Ausrissee) distalen Radiusfraktur |
|--|

Die häufigste Begleitverletzung einer perilunären Dislokation ist der Abbruch des proc. styl. radii. Obwohl ein Abbruch von diesem auch isoliert vorkommen kann, ist er doch oft mit einer komplexen Dislokationsverletzung vergesellschaftet.

Therapeutisch kann eine operative Fixierung des processus styl. radii in bestimmten Fällen die Instabilität einer solchen Handgelenksverletzung beseitigen, da die maßgeblichen, kräftigen volaren Bänder zur Stabilisierung der Handwurzel hier inserieren. Ebenso wie ein vom ersten Aspekt isolierter Abriß des proc. styl. radii, sollte eine dislozierte Scaphoid Fraktur (134) oder eine Triquetrumfraktur den Untersucher immer eine perilunäre Dislokationsverletzung vermuten und sie explizit ausschließen lassen.

Beim Vorliegen einer Luxationsverletzung sind als erstes folgende zwei Fragen zu beantworten:

1. Ist das Scaphoid subluxiert oder frakturiert?
2. Ist die Dislokation der distalen Handwurzelreihe dorsal oder volar?

Der Vollständigkeit halber seien hier noch erwähnt, die seltenen Luxationen des gesamten Carpus nach volar wie nach dorsal, wie auch die seltene, meist dann aber multiple Luxatio Carpo-Metacarpea. Eine radio-carpale Luxation ist bisweilen vergesellschaftet mit einem Abriß des proc. styl. radii, bzw. einem Abbruch der volaren Kante des Radius (Barton) oder im dorsalen Fall einem Abbruch der Lippe des Radius.

6. Instabilitäten

Oft wird nach komplexen Luxationsverletzungen keine vollständige Ausheilung erreicht. Häufig führen diese Verletzungen im weiteren Verlauf zu arthrotischen Veränderungen. Die Ursache hierfür mag eine Instabilität des Handgelenkes gewesen sein, als Ausdruck der nicht vollständig verheilten Bandläsion. Im folgenden Kapitel werden die Instabilitäten klassifiziert und beschrieben.

Eine Instabilität kann einen Folgezustand einer Fraktur oder komplexen Dislokationsverletzung darstellen. Sie kann aber auch das Bild einer eigenständigen Verletzung sein, bei der es nur zu einer partiellen Schädigung des Bandapparates kam, ohne daß das Bild einer der vorher besprochenen klassischen Verletzung entstanden wäre.

Über Einteilung und Nomenklatur bestehen unterschiedliche Auffassungen. In der folgenden Tabelle ist eine mögliche Klassifikation vorgestellt:

Tab.14 Instabilitäten

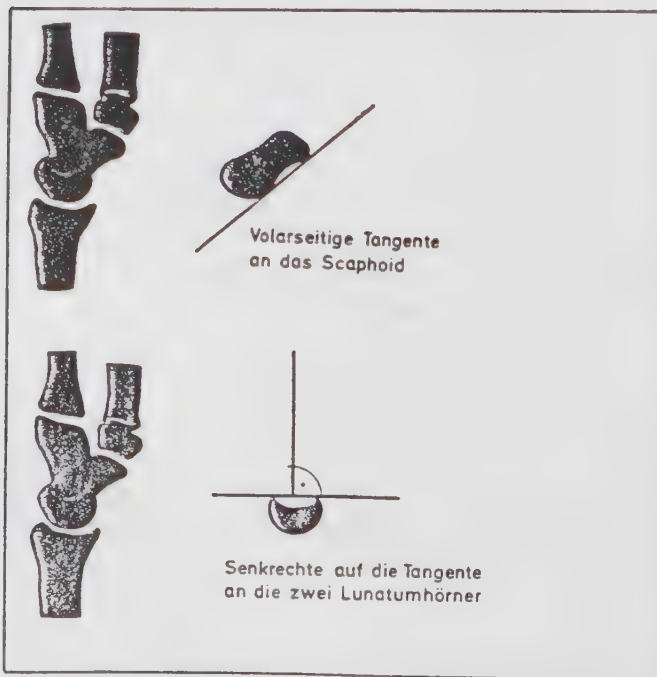
- | |
|--|
| <ol style="list-style-type: none">1. Rotationssubluxation des Os scaphoideum (RSS)2. Scaphoid-Trapezium-Trapezoideum-Dissoziation (STTD)3. Scaphoid-Capitatum-Dissoziation (SCD)4. Zentrale dorsale Instabilität (ZDI)5. Zentrale volare Instabilität (ZVI)6. Proximale Instabilität<ul style="list-style-type: none">- Ulnare Translokation- Dorsale Subluxation des Carpus- Volare Subluxation des Carpus |
|--|

Eine Instabilität des Handgelenkes verursacht oft nur geringfügige Veränderungen der Handgelenksarchitektur. Es hat sich bewährt, bei

einigen "Schlüssel"-Knochen des Handskelettes Achsen zu definieren. An Hand dieser expliziten Achsen läßt sich die Stellung der Handwurzelknochen zueinander standardisiert erfassen. Es ist so möglich, Normalbereiche festzulegen, ebenso wie man Werte als pathologisch einstufen kann. Diagnostisch wichtig in der seitlichen Röntgenaufnahme sind die Stellung von Os scaphoideum, Os lunatum, Os capitatum und Radius. Die Achsen dieser Knochen sind folgendermaßen festgelegt:

Scaphoid: Man verbindet volar die proximale und distale Konvexität des Knochens, wodurch eine Achse recht genau festgelegt ist.

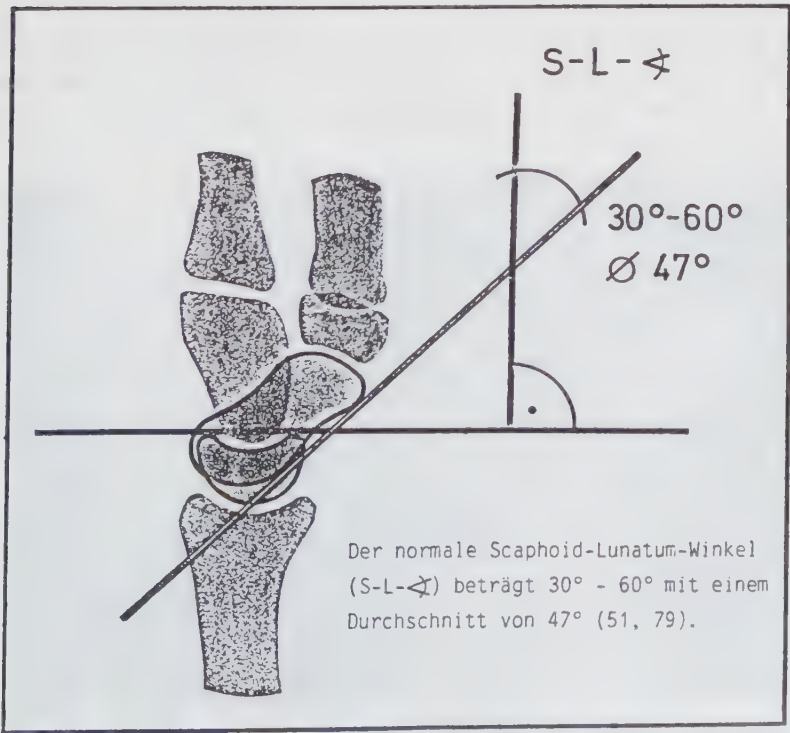
Lunatum: Man verbindet die beiden distalen Hörner und zieht durch die Mitte dieser Verbindungslinie eine Senkrechte. Da das Lunatum etwas keilförmig ist, verläuft die Linie meist nicht genau durch das Zentrum, dafür ist sie exakt reproduzierbar.



Capitatum: Man zieht die Achse vom Zentrum des proximalen Kopfes durch das Zentrum der distalen Gelenkfläche bzw. den Kopf des dritten Metacarpalknochens.

Radius: Die Radiusachse ist die Linie, die parallel zum Zentrum des Radiuschaftes durch die Mitte der distalen Gelenkfläche läuft.

Auf einer seitlichen Aufnahme, in der Radius und Os metacarpale III in einer Achse stehen, sollten auch Radius, Os lunatum und Os capitatum in etwa colinear stehen. Nach einer Untersuchung von Sarrafian (112) ist dies aber auch bei asymptomatischen Handgelenken nur in 11 % der Fälle so. 71 % hatten eine zentrale Lunatumflexion von im Durchschnitt 12° , 73 % hatten eine Capitatumextension (Dorsalflexion) von durchschnittlich 8° , wodurch 51 % eine insgesamte Palmarflexion von 11° hatten. Dies mag evtl. durch asymmetrische Ossa lunata bedingt sein.



6.1. Rotationssubluxation des Os scaphoideum (RSS)

Die Rotationssubluxation des Scaphoid ist eine häufige Instabilität der Handwurzel. Zwar ist sie oft ein Residualzustand nach einer perilunären oder Lunatum-Luxation (125, 127), kann aber auch das Bild einer isolierten, eigenständigen Verletzung sein (50). Für Mayfield ist die Rotationssubluxation des Scaphoid das erste Stadium der perilunären Luxation ("Stadium I der perilunären Instabilität"), also das Zustandsbild einer Bänderverletzung, die nicht so weit fortschreiten konnte wie bei einer komplexen Luxationsverletzung. Die Ursache für diese Rotationssubluxation, bei der der proximale Pol des Scaphoid nach dorsal disloziert, ist eine fehlende Kontrolle der Bänder, die den proximalen Pol des Scaphoid stabilisieren und führen. Die erste Voraussetzung für dieses Erscheinungsbild ist ein Riß der interossären Bandstrukturen zwischen Scaphoid und Lunatum. Es kommt aber erst zur Luxation und Rotation des proximalen Pols, wenn neben der volaren Befestigung des Scaphoid am Radius-Capitatum-Band (R-C-B) auch der sogenannte volare Zügel, das Radius-Scaphoid-Lunatum-Band (R-S-L-Band) abgerissen ist. Da auch bei dieser Situation frühzeitige Therapie das Ergebnis bestimmt, ist die rechtzeitige Erkennung durch den Radiologen nötig; jedoch wird diese verhältnismäßig subtile Fehlstellung noch oft übersehen.



Abb. 71 a

Abb. 71 b

Die röntgenologischen Kriterien der RSS sind:

- p-a Bild:
1. Das Scaphoid erscheint verkürzt.
 2. Der distale Teil wirkt verdichtet durch die Überprojektion des distalen Poles, wodurch ein ringförmiger Schatten entsteht.
 3. Der Gelenkspalt zwischen Scaphoid und Lunatum ist vergrößert auf mehr als 2 mm.
- seitliches Bild:
1. Das Scaphoid ist volarflektiert, die Längsachse des Scaphoid steht fast senkrecht zur Radiusachse, der Scaphoid-Lunatumwinkel ist auf mehr als 60° vergrößert.
 2. Das Lunatum kann, im Gegensatz zum Scaphoid, mit seiner Konkavität dorsalflektiert sein (Zeichen einer oft vergesellschafteten dorsalen Instabilität - siehe dort).

Wie bei jedem Verdacht auf eine Instabilität sind für die Diagnose der Rotationssubluxation des Scaphoid sogenannte Funktionsaufnahmen als gehaltene Aufnahmen hilfreich. Der Standard umfaßt 6 Aufnahmen:

1. p-a in Neutralstellung
2. p-a in Ulnarabduktion
3. p-a in Radialabduktion
4. seitlich in Neutralstellung
5. seitlich in Extension
6. seitlich in Flexion

Bei einem Defekt des interossären Bandes von Scaphoid und Lunatum läßt sich der Gelenkspalt durch Ulnarabduktion wie auch durch forcierte Radialabduktion aufweiten (79). Dabei soll ein Gelenkspalt weiter als 2 mm verdächtig, weiter als 4 mm beweisend sein für eine

Ruptur des interossären Bandes. Die seitlichen Aufnahmen demonstrieren die Subluxationsstellung des Scaphoid (Tendenz zur posterioren Subluxation) und evtl. des Lunatum (Tendenz mit seiner Konkavität dorsalwärts kippen).

Ebenfalls zur besseren Darstellung einer Scaphoid-Lunatum-Dissoziation sind vorgeschlagen worden eine Aufnahme in voller Supination, d.h. eine anterior-posterior-Aufnahme, die einen besseren Einblick in den Gelenkspalt ermöglicht (20, 127), ebenso wie eine p-a Aufnahme bei geballter Faust, bei der bedingt durch den Längszug, der Capitatumkopf zwischen Scaphoid und Lunatum drängen soll und dadurch eine Aufweitung des Gelenkspaltes verursacht (53, 127). Auch die Kombination, eine Aufnahme in voller Supination mit geballter Faust, wird vorgeschlagen (87).

Die Rotationssubluxation des Scaphoid (RSS) - mögliche Ursache eines Carpal tunnel syndroms (CTS)

Nur bei einigen an einem Carpal tunnel syndrom erkrankten Patienten läßt sich radiologisch eine (knöcherne) Einengung des Carpalkanals diagnostizieren. Mögliche knöcherne Ursachen für ein Carpal tunnel syndrom können sein, z.B. eine Trapeziumfraktur (86, 16), eine distale Radiusfraktur oder eine volare Lunatumluxation. Ein CTS kann auch einziges Symptom einer Lunatummalazie sein. Daneben gibt es internistische Erkrankungen, zu deren Symptomkomplex auch ein CTS gehören kann. Die häufigste, radiologisch faßbare, organische Ursache eines CTS ist jedoch die chronische Polyarthrititis. In der Regel wird aber keine Ursache für ein Carpal tunnel syndrom gefunden werden. Daß auch eine, radiologisch faßbare, Rotationssubluxation des Scaphoid ein Carpal tunnel syndrom verursachen kann, war bislang unbekannt.

Untersuchung

Über einen Zeitraum von 7 Monaten haben wir präoperativ von 55 Patienten mit neurologisch gesichertem Carpal tunnel syndrom Röntgenaufnahmen in zwei Ebenen sowie eine CT-Aufnahme von beiden Handgelenken

angefertigt. Wir fanden bei 6 dieser 55 Patienten mit Carpal tunnel-syndrom eine mehr oder weniger stark ausgeprägte Rotationssubluxation des Scaphoid. Dabei war bei einem Patienten das interossäre Band zwischen Scaphoid und Lunatum am Lunatum knöchern ausgerissen, es lag somit zusätzlich eine Lunatumfraktur vor, bei einem anderen Fall, bei dem sogar intraoperativ die starke Subluxationsstellung des Scaphoid nach volar auffiel, bestand eine Scaphoidpseudarthrose, in einem dritten Fall bestand zusätzlich seit Jahren eine chronische Polyarthrititis. Bei einem vierten Patienten war der distale Teil des Scaphoid zystisch verändert. Da sich bei insgesamt 354 knöchernen und ligamentären Befunden bei zusätzlich über 700 distalen Radiusfrakturen in den letzten drei Jahren im Bereich des Handgelenkes nur 11 Rotationssubluxationen des Scaphoid fanden, ist die Häufung dieses Befundes bei idiopathischen Carpal tunnel syndromen signifikant.

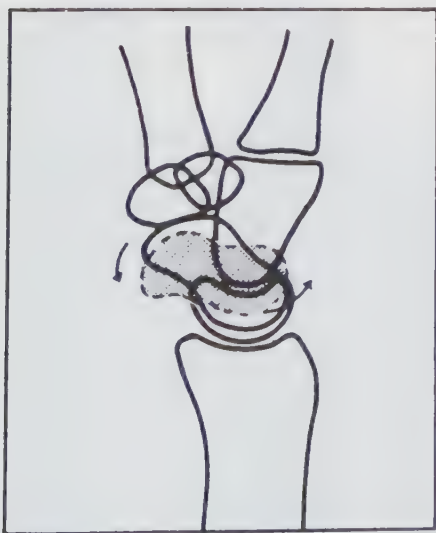


Abb. 72
Rotationsbewegung des
Os scaphoideum bei der
RSS.

Durch die vermehrte Beweglichkeit des proximalen Pols nach dorsal, kippt der distale Pol palmarwärts und verdrängt dadurch Weichteilgewebe nach medial, was zur Medianuskompression führt. Ein Querschnitt durch das menschliche Handgelenk in Höhe des distalen Scaphoid läßt dies plausibel erscheinen.

6.2. Scaphoid-Trapezium-Trapezoideum-Dissoziation (STTD)

Während bei der RSS der Bandapparat des proximalen Scaphoidpol verletzt ist, sind bei der Scaphoid-Trapezium-Trapezoideum-Dissoziation (STTD) die Bänder des distalen Scaphoid überdehnt oder gerissen. Dadurch besteht eine vermehrte Aufklappbarkeit dieses Gelenkes bei gehaltenen Aufnahmen in Ulnarabduktion und unter auf das Handgelenk einwirkenden Zug, bezeichnet als Längssubluxation (125).

STT-Arthrose

Als Folge dieser vermehrten Beweglichkeit in diesem Gelenk scheint es zur isolierten Arthrose kommen zu können (STT-Arthrose).

Abb. 73



Abb. 74



Die isolierte STT-Arthrose kann möglicherweise auch durch die nachfolgend beschriebene Instabilität, die Scaphoid-Capitatum-Dissoziation (SCD), verursacht sein.

Bei der Auswertung der Röntgenuntersuchungen unserer 55 Patienten mit Carpal tunnel syndrome fanden wir interessanterweise bei 6 Patienten am betroffenen Handgelenk eine isolierte STT-Arthrose, in zwei Fällen sogar beidseits. Inwieweit die vermehrte Beweglichkeit des Handwurzel-skelettes oder die arthrotischen Veränderungen in diesem Bereich für die Medianusreizung kausal verantwortlich sind, kann derzeit nicht entschieden werden. Ich glaube, daß mit Hinblick auf die RSS eine Beziehung zwischen distalem Scaphoidpol und dem Carpal tunnel syndrome hergestellt werden kann.

6.3. Scaphoid-Capitatum-Dissoziation (SCD)

Die Scaphoid-Capitatum-Dissoziation (SCD) äußert sich in einem besonders weit klaffenden Gelenkspalt zwischen distalem Scaphoid und Capitatum bei gehaltener Aufnahme in Ulnarabduktion.



Abb. 75

SCD



Abb. 76

Os centrale

Ursache für eine derartige Lücke kann auch ein Os centrale sein, das als Knorpelmasse zwischen Scaphoid und Capitatum liegen kann, besonders wenn sich an der zum Scaphoid grenzenden Gelenkfläche des Capitatum eine tiefe Grube findet.

Diagnostiziert werden diese beiden Instabilitäten (STTD, SCD) mit gehaltenen Aufnahmen im Seitenvergleich. Zur Anfertigung solcher Aufnahmen s. Kap. 9.3..

6.4. Zentrale dorsale Instabilität (ZDI)

Diese Form der Instabilität ist in der Regel nur ein anderer Aspekt der im Grunde selben Verletzung, die zu einer Rotationssubluxation des Scaphoid führt. Das Lunatum ist zwischengeschaltetes Element zwischen Radius und der distalen Handwurzelreihe, die durch ihre starre Verbindung zu den Metacarpalknochen quasi eine Verlängerung der Hand in das Handgelenk hinein darstellt. Zudem ist das Lunatum im seitlichen Querschnitt keilförmig, wodurch es die Tendenz bekommt, dorsalwärts zu rotieren und palmarwärts zu subluxieren (68). Soll das Lunatum bei diesen Voraussetzungen an seinem Platz bleiben, muß es stabilisiert werden. Einen ganz wesentlichen Faktor dieser Stabilisierung übernimmt das Scaphoid durch seine interossären Bänder mit dem Lunatum. Es kann so durch seine aufgerichtete Position und seine Verbindung zum Trapezium, Trapezoideum und Capitatum eine Brückenfunktion zwischen den beiden Handwurzelreihen ausüben. Das interossäre Band von Scaphoid und Lunatum ist auch dafür verantwortlich, daß das Lunatum dieselbe Kippbewegung des Scaphoid bei Radialabduktion (nach volar) und Ulnarabduktion (nach dorsal), nur in geringerem Umfang, ausführt. Ist dieses interossäre Band gerissen, ist die Synchronität der Bewegung von Scaphoid und Lunatum aufgehoben, das Scaphoid zeigt seine Tendenz zur Palmarflexion, während das Lunatum, durch den Wegfall der Stützfunktion des Scaphoid, durch einen verstärkten Druck des Capitatum in eine Dorsalflexion gezwungen wird. Dadurch entsteht das Bild der Zick-Zack Deformität (Gilford), Ziehharmonika Instabilität (Fisk), der "dorsal intercalated segment instability" (DISI) (Lindscheid) oder wie wir sagen, der Zentralen dorsalen Instabilität (ZDI).

Dabei steht das Capitatum nicht mehr senkrecht über dem Radius, sondern ist, durch die verschobene Konkavität des Lunatum, dorsalwärts von der Verlängerung der Achse des Radius plaziert.

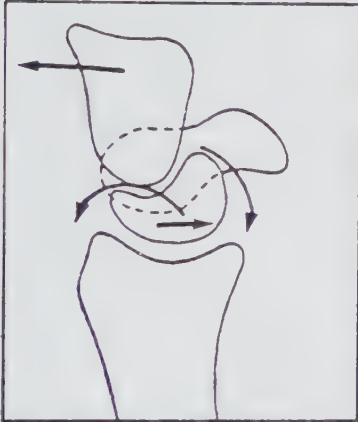


Abb. 77



Abb. 78

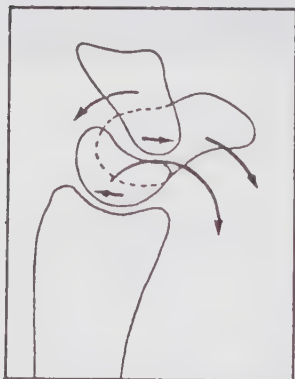
Die zwei entscheidenden diagnostischen Kriterien der Zentralen dorsalen Instabilität (ZDI) sind:

1. In einer streng seitlichen Aufnahme (Radius und Ulna decken sich, Radius und Os metacarpale III stehen in einer Achse) ist das Os lunatum in seiner Achse um mehr als 20° gegenüber dem Radius dorsalflektiert.
2. Der Scaphoid-Lunatum Winkel (S-L- $\angle$) ist auf über 60° vergrößert.

Nach distalen Radiusfrakturen oder reponierten komplexen Verletzungen sollte auf diese Instabilität geachtet werden.

6.5. Zentrale volare Instabilität (ZVI)

Das sehr viel seltenere volare Pondon der dorsalen zentralen Instabilität hat ein anderes Verletzungsmuster. So ist hier das interossäre Band zwischen Scaphoid und Lunatum intakt, Scaphoid und Lunatum sind gemeinsam volarflektiert, das Capitatum befindet sich volarseitig der verlängerten Achse von Radius. Anscheinend wird die spontane Volarflexion des Lunatums durch den Lunatum-Triquetrum-Komplex verhindert. Entsprechend mag sich eine Bänderdehnung bzw. ein Bänderriß an dem interossären Band zwischen Triquetrum und Lunatum bzw. den Bandstrukturen, die das Triquetrum führen, offenbaren (125).



Der Scaphoid-Lunatum-Winkel ist meist verkleinert auf weniger als 30° .

Abb. 79



Abb. 80 a

Abb. 80 b

Zentrale volare Instabilität: Os scaphoideum und Os lunatum sind palmarwärts flektiert. Man beachte in der p-a-Aufnahme die weite Überschneidung von Os lunatum und Os scaphoideum mit dem Os capitatum und Os hamatum.



Abb. 81 a



Abb. 81 b

Zentrale volare Instabilität: Zustand nach distaler Radiusfraktur mit Korrektur-Osteosynthese.

6.6. Proximale Instabilität

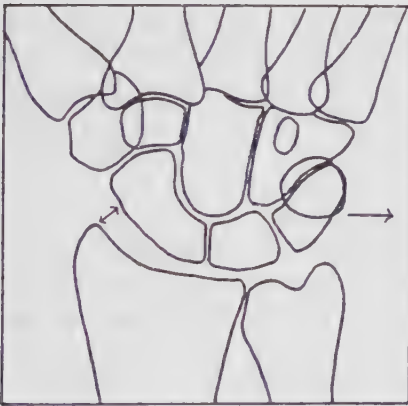
Man kann drei Formen von proximaler Instabilität unterscheiden:

1. Ulnare Translokation
2. Dorsale Subluxation des Carpus
3. Volare Subluxation des Carpus

Hierbei bleibt der Carpus in sich intakt und subluxiert als Ganzes relativ zum Radius auf Grund veränderter Verhältnisse der Radio-Carpalen Bänder.

1. Ulnare Translokation

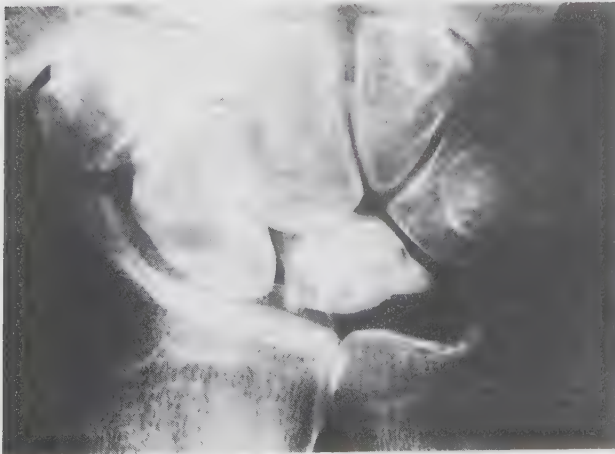
Die starken sowohl volaren als auch dorsalen Bänder des Handgelenkes verlaufen schräg in erster Linie vom Prolatus styloideus des Radius zum ulnaren Teil des Carpus, um zu verhindern, daß das Handgelenk an der schrägen Gelenkfläche des Radius hinabrutscht.



Schematische Darstellung
der Ulnaren Translokation

Abb. 82

Sind diese Bänder zerstört oder geschwächt, meist durch chronische Synovitis wie bei der rheumatoiden Arthritis, selten isoliert post-traumatisch, transloziert der Carpus ulnarwärts, wodurch das Lunatum



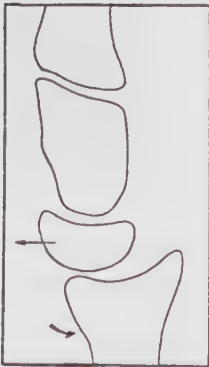
Ulnare Trans-
lokation bei
Lunatummalazie

Abb. 83

über die "Kante" des Radius rutscht und dann in Neutralstellung weniger als 50 % des Lunatum mit dem Radius artikuliert. Dadurch entsteht auch ein diagnostisch wichtiger Spalt zwischen dem Processus styloideus radii und dem Os scaphoideum.

2. Dorsale Subluxation des Carpus

Die dorsale Subluxation der Handwurzel ist gewöhnlich ein Folgezustand einer nicht anatomisch verheilten, ehemals eingestauchten und dorsal abgekippten distalen Radiusfraktur, oder einer dorsalen Bartonfraktur, bei der die dorsale Lippe des Radius frakturiert und der Processus styloideus radii frakturiert war (51, 125).



Röntgenologisch sieht man im Seitenbild das Lunatum mit dem übrigen Carpus dorsalseitig von der Mittelachse des Radius. Diese Subluxationsstellung kann permanent sein oder aber auch erst bei Ulnar-deviation plötzlich auftreten (125).

Abb. 84

3. Volare Subluxation des Carpus

Die volare Subluxation im Radiocarpalgelenk ist selten. Hierbei befindet sich das Lunatum im Seitenbild volar von der Mittelachse des Radius bei weitgehend unauffälliger Beziehung der acht Handwurzelknochen untereinander. Sie kann ebenfalls bedingt sein durch

Bartonfrakturen bzw. ein Residuum eines (seltenen) Abbruches des volaren Randes des Radius sein, aber auch primäres Zustandsbild einer Handwurzelverletzung sein, wie der Fall von Heckrodt (58) zeigt.

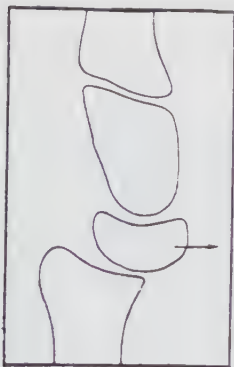


Abb. 85

Da bisweilen Instabilitäten als Zufallsbefund ohne vorhergehendes Trauma vorkommen können, ist für eine evtl. Therapie entscheidend, ob der Patient symptomatisch ist und ob eine Seitendifferenz besteht. Auf alle Fälle ist eine kongenitale Schwäche des Halteapparates mit abzuwägen.

7. Isolierte Luxationen einzelner Handwurzelknochen

7.1. Scaphoid

Die isolierte Luxation des Scaphoid ist selten. Man unterscheidet volare, dorsale, radiale sowie radiodorsale und radiopalmare Luxation (97), wobei diese Unterscheidung auf Grund der Seltenheit dieser Verletzung mehr von akademischem Interesse ist. Die dorsale Luxation ist der Extremfall der Rotationssubluxation des Scaphoid mit ähnlichen, noch ausgeprägteren röntgenologischen Befunden. Bei der radialen Scaphoid-Luxation liegt der proximale Scaphoidpol radial vom processus styloideus radii, das Capitatum nähert sich in der großen Lücke zwischen Scaphoid und Lunatum dem Radius. Bei der volaren Scaphoidluxation muß der Gelenkspalt zwischen Scaphoid und Lunatum nicht verbreitert sein, es kann hier sogar zu Überschneidungen kommen. Überlagert sind auch proximaler Scaphoidpol und distale Radiusgelenkfläche. Im Seitenbild liegt der proximale Pol volar vom vorderen Rand der Radiusgelenkfläche.

Da bei einer isolierten Luxation des Scaphoid das interossäre Band zwischen Scaphoid und Lunatum gesprengt ist, muß man nach Reposition und im Verlauf nach Instabilitäten suchen, also im speziellen nach der RSS und der zentralen dorsalen Instabilität. Auch eine STTD oder SCD als Residualzustand sind denkbar.

7.2. Lunatum

Die beiden Luxationen des Lunatum, nach volar und dorsal, wurden bereits als Zustandsbild einer dorsalen bzw. volaren perilunären Luxation beschrieben.

7.3. Trapezium

Wie das Lunatum kann das Trapezium volar und dorsal luxieren. Damit es zu dieser seltenen Verletzung kommt, ist ein direktes Trauma notwendig.

7.4. Trapezoideum

Man kann die dorsale Luxation als die für das Trapezoideum typische Verletzung bezeichnen, obwohl auch sie sehr selten ist. Sie soll durch einen volar-proximal gerichteten Schlag auf das distale Metacarpale zustande kommen (Faustschlag) (16, 114).



Abb. 86 a

Abb. 86 b

Noch seltener kann es, wie hier gezeigt, zu einer Dislokation nach palmar kommen. Eine Trapezoideumluxation mag bisweilen vergesellschaftet sein mit einer Luxation der Carpometacarpalgelenke oder auf Grund der starken Bandstrukturen, mit einer Capitatumluxation.

7.5. Pisiforme

Luxationen des Pisiforme sind ebenfalls selten, etwas häufiger sind Subluxationsstellungen. Diese Verletzungen entstehen durch Scherkräfte

bei Stürzen oder durch Muskelzug der Sehne des musculus flexor carpi ulnaris bei schwerem Heben. Eine Luxation wird im p-a Bild oft durch eine Verschiebung nach proximal-lateral sichtbar. Hilfreich kann die Beurteilung des Pisotriquetral-Gelenkes sein. Dabei gilt für das normale Gelenk, daß die Gelenkflächen einander weitgehend parallel sind, der Gelenkspalt nicht weiter als 3 mm ist und das Pisiforme auch über seiner Gelenkfläche mit dem Triquetrum steht (130).



Abb. 87

7.6. Capitatum

Wegen seiner festen ligamentären "Einmauerung" in den Carpus sind Capitatum-Luxationen meist das Ergebnis großer punktförmiger Gewalt-einwirkung und daher oft Teil einer offenen Verletzung. Eine Dislokation kann palmar wie dorsal sein, der proximale Pol (der Kopf) des Capitatum luxiert leichter als der distale Anteil des Knochens, bis-
weilen ist die Luxation gemeinsam mit dem Trapezoideum (nach dorsal).

7.7. Hamatum

Zur isolierten Luxation des Hamatum gehört ebenfalls ein schweres, in der Regel offenes Trauma. Bei dieser seltenen Verletzung soll die dorsale Dislokation häufiger sein als die volare (32, 140). Wie bei Frakturen in diesem Bereich ist oft der nervus ulnaris mitgeschädigt.

7.8. Triquetrum

Eine isolierte Luxation des Triquetrum scheint nicht vorzukommen.

Für die Diagnose entscheidend ist die Anfertigung von Vergleichsaufnahmen des gesunden Handgelenkes, eventuell mit zusätzlichen Projektionen, wie sie für die einzelnen Knochen im speziellen beschrieben worden sind.

Eine Möglichkeit der Anfertigung von Vergleichsaufnahmen schlägt Campbell (21) vor: Dabei werden jeweils beide Handgelenke gleichzeitig auf einem Film abgebildet.

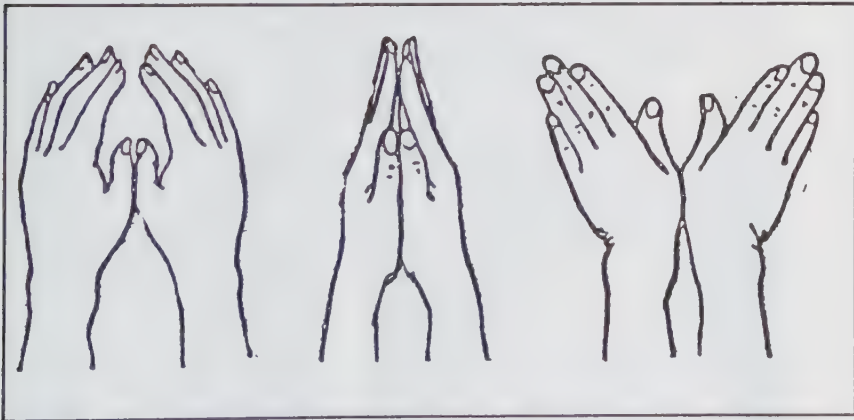


Abb. 88 Seitenvergleich bei Verdacht auf Luxation

8. Lunatummalazie (M. Kienböck) und andere aseptische Knochennekrosen des Handgelenkes

8.1. Lunatummalazie

Die Lunatummalazie ist eine aseptische Knochennekrose des Mondbeins, die 1910 erstmals von Kienböck beschrieben wurde und im internationalen Schrifttum nach ihm benannt wird (Kienböck'sche Erkrankung). Die Erkrankung ist chronisch-progredient über Jahre, die Diagnose wird selten frühzeitig gestellt und die eingetretenen destruierenden Veränderungen gelten als nicht rückbildungsfähig.

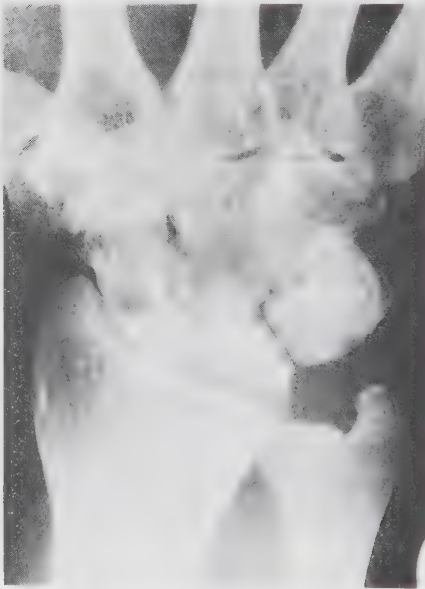


Abb. 89 a

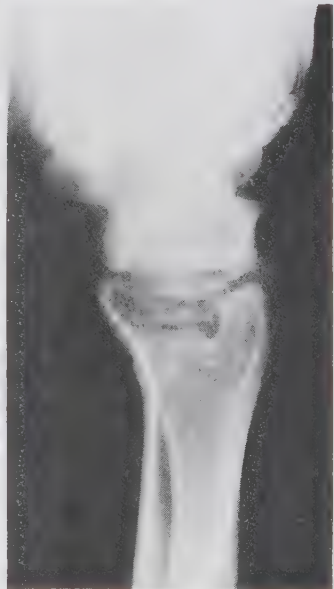


Abb. 89 b

Betroffen sind hauptsächlich Männer zwischen dem 20. und 30. Lebensjahr, sie kann jedoch ab der Pubertät in jedem Lebensalter auftreten (107). Eine auffallende Häufigkeit findet sich bei Personen, die ihr Handgelenk in besonderem Maße chronischen Belastungen aussetzen (Bergarbeiter und andere mit Preßluftwerkzeugen arbeitende Personen, Schmiede, Schreiner, Wäscherinnen). Diese sogenannte professionelle Form (69)

der Lunatummalazie entsteht durch chronisch einwirkende Mikrotraumen und ist dann als Berufskrankheit anerkannt. Auf der anderen Seite ist inzwischen eindeutig erwiesen, daß sich nach einem Trauma, z.B. einer Lunatumfraktur oder einer Lunatumluxation, eine Lunatummalazie entwickeln kann (8). Von den bei uns beobachteten 29 Lunatummalazien der Jahre 1979-1981 sind 4 zweifelsfrei posttraumatisch entstanden. Wahrscheinlich werden viele Lunatumfrakturen, die zur Malazie führen,

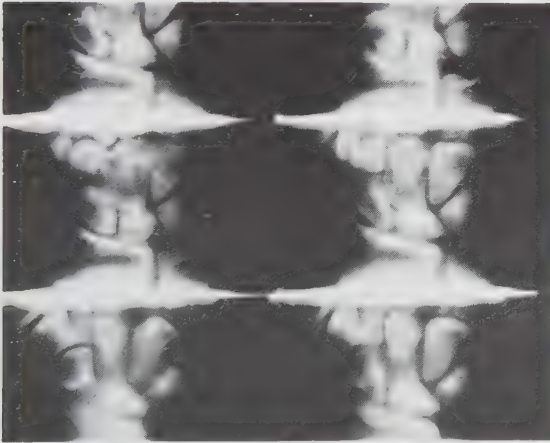


Abb. 90

Lunatummalazie
dargestellt im
Tomogramm

nicht erkannt (71, 87), bzw. sind gar nicht erkennbar. Jedoch kann eine Großzahl der Lunatummalazien nicht auf ein Trauma oder eine chronische Belastung zurückgeführt werden. Für diese Gruppe, der Angestellte wie Jugendliche angehören, muß eine vorhandene Disposition angenommen werden: Das Lunatum ist schon unter physiologischen Bedingungen besonderen Belastungen ausgesetzt, da es zum einen in der direkten Kraftachse von Hand und Unterarm liegt, zum anderen nicht vollständig diese Beanspruchungen auf den Radius übertragen kann, da es nur teilweise (und in Abhängigkeit von Radial- und Ulnarabduktion) mit ihm artikuliert. Ulnarseitig artikuliert das Lunatum

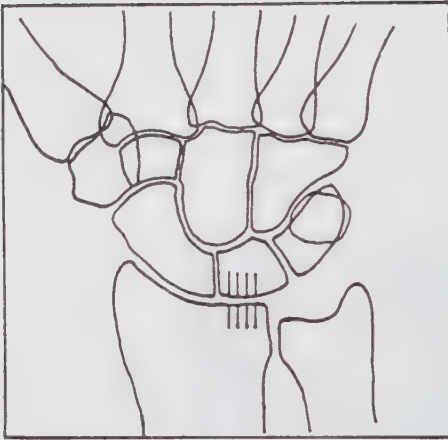


Abb. 91

Vermehrte Druckzone
im Bereich des Os lu-
natum bei Minusvariante
der Ulna

mit dem Discus articularis, wodurch es zur ungleichmäßigen Druckverteilung zwischen dem radialen und ulnaren Bereich des Lunatums kommt.

Hulten beschrieb 1928 die Minusvariante der Ulna, die er in überdurchschnittlicher Häufigkeit bei Patienten mit Lunatummalazie beobachten



Abb. 92a

Abb. 92b

Lunatummalazie: Die Minusvariante der Ulna ist bereits durch eine Radiusverkürzungsosteotomie ausgeglichen.

konnte (61). Als Minusvariante der Ulna bezeichnet er eine verkürzte Ulna, die nicht das Gelenkniveau des distalen Radius erreicht. Dieser Normvariante kommt eine große Bedeutung in der Äthiologie der Lunatummalazie zu:

Tab.15 - Normalpersonen

	Minus	Null	Plus	Anzahl
Hulten (1928).....	23 %	61 %	16 %	400
Fischer-Carret (1970).....	15 %	69 %	16 %	100

Tab.16 - Patienten mit Lunatummalazie

	Minus	Null	Plus	Anzahl
Hulten (1928).....	74 %	26 %	0 %	23
Persson (1945).....	63 %	37 %	0 %	338
Fischer-Carret (1970).....	55 %	45 %	0 %	20

Die Entstehung der Lunatummalazie ist ein multifaktorielles Geschehen, an dem die vier Komponenten:

1. Trauma
2. Chronisches Mikrotrauma
3. Minusvariante der Ulna
4. Disposition (Gefäßversorgung, Größe des Lunatum)

zu jeweils unterschiedlichen Anteilen beteiligt sind.

Die röntgenologischen Veränderungen sind charakteristisch, jedoch verschiedenartig und abhängig von dem Stadium der Erkrankung. Zu Beginn ist eine sichere Diagnose schwierig. Die Form ist erhalten, man findet einzelne fleckige Verdichtungen mit kleinen zystischen Aufhellungen

bei leichten Unregelmäßigkeiten der Spongiosastruktur. Anfangs imponiert oft eine Sklerosezone subchondral an der dem Capitatum zugewandten Gelenkfläche. Im weiteren Verlauf kommt es zu einer gleichförmigen Sklerose, durch Nekrose bedingte Umbauvorgänge kommt es zur Hohlenbildung. Dies führt häufig zu Spontanfrakturen und zur typischen Höhenminderung mit Verlust der äußeren Form (z.B. Keilbildung). Im seitlichen Bild ist das Lunatum deutlich höhengemindert und (oft auf das Doppelte) in die Breite "ausgewalzt". Daher auch die Möglichkeit eines gleichzeitigen Carpaltunnelsyndroms, das das einzige Symptom der Erkrankung sein kann. Therapie ist in diesen Fällen die Neurolyse des Medianus im Carpalkanal.

Die Diagnose kann nur röntgenologisch gestellt werden. Dazu ist bei Verdacht neben der posterior-anterioren und seitlichen Aufnahme unbedingt eine tomographische Untersuchung mit hypozyklodaler Verwischung anzufertigen. Nur so lassen sich diskrete Veränderungen frühzeitig erfassen. Wir sind nicht der Meinung, wie manche Autoren zur Beurteilung speziell des hinteren Teiles vorschlagen, daß zusätzliche seitliche Tomogramme angefertigt werden müßten (8, 46). Das sollte nur für sehr spezielle Fragestellungen vorbehalten sein. Eine Darstellung des Carpalkanals nach standardisierter Methode ist bei Verdacht auf knöcherne Einengung notwendig.

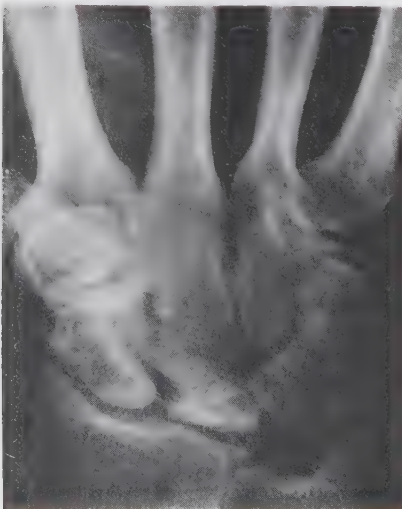


Abb. 93

Lunatummalazie mit
sekundärer Radiocarpal-
und STT-Arthrose.

Eine Reihe von Komplikationen können im Verlauf der Lunatummalazie auftreten: Fast immer kommt es zu arthrotischen Veränderungen bis hin zur Zerstörung der Carpalarchitektur. Die Handwurzelknochen können sich zystisch verändern, auch kann es zu einer Rotationssubluxation des Scaphoid kommen.

8.2. Aseptische Knochennekrosen der anderen Carpalia

Es sind aseptische Knochennekrosen von fast allen Handwurzelknochen beschrieben worden. Es handelt sich hier, mit Ausnahme der Scaphoidnekrose, um Einzelfälle, die keine Bedeutung für den ärztlichen Alltag haben.



Abb. 94

Nekrose des proximalen und teilweise distalen Fragments nach einer proximalen Os scaphoideum Fraktur

Die aseptische Nekrose des Os scaphoideum wurde zuerst (1911) von Preiser beschrieben. Die Ursachen, sowie der Verlauf sind ähnlich der Lunatummalazie. Personen mit primärer Zweiteilung (Os scaphoideum bipartitum) sollen ein deutlich erhöhtes Risiko für eine Scaphoidnekrose haben (107) und daher nicht mit Preßluftwerkzeugen arbeiten.

9. Diskussion

Aufgaben der Röntgendiagnostik

Zentrale Bedeutung kommt der Abklärung von Traumafolgen zu. Im Bereich des komplex aufgebauten Handgelenks und wegen der zahlreichen unterschiedlichen Verletzungsmöglichkeiten (Frakturen, Luxationen, Bandverletzungen) ist eine subtile und gewissenhafte Untersuchungstechnik erforderlich. Zu den Aufgaben der Röntgendiagnostik am Handgelenk zählt auch die Verlaufs- und Therapiekontrolle. Hierzu gehört die Beurteilung des Heilungsprozesses einer Fraktur, Aussagen über den Kalksalzgehalt des Knochens und die Stellungskontrolle nach Reposition bzw. operativer Versorgung. Lage und Reaktion von Fremdmaterial muß beurteilt werden. Gutachterliche Tätigkeit setzt die Kenntniss von Spätfolgen und Residualzuständen voraus.

Das Handgelenk ist Prädelektionsstelle für allgemeine krankhafte Skelettprozesse. So erwartet der Internist vom Radiologen die Unterscheidung entzündlicher Veränderungen von degenerativen Prozessen. Auf Grund der teilweise spezifischen Veränderungen und Befallsmuster können in bestimmten Fällen Hinweise auf die Ätiologie einer entzündlichen Erkrankung gegeben werden (CP, intestinale Arthritis etc.). Therapeutische Konsequenzen ergeben sich z.B. aus dem Nachweis von Erosionen bei CP. Weitere pathologische Reaktionen an Handwurzelknochen können sein: Osteomalazie, Osteoporose, aseptische Knochennekrose, Sudeck Atrophie oder selten ein metastatischer Befall.

An der Bewältigung dieser Aufgaben wird die Röntgendiagnostik des Handgelenks gemessen. Damit ein hohes Maß an Zuverlässigkeit z.B. in der Frakturdiagnostik bzw. dem Frakturausschluß erreicht wird, muß der Radiologe wissen nach welchen Enditäten er suchen muß und welche Möglichkeiten ihm auf dieser Suche zur Verfügung stehen. Diese Möglichkeiten sind neben unterschiedlicher Aufnahmetechniken die Anwendung zusätzlicher Projektionen, Funktionsdiagnostik durch

gehaltene Aufnahmen, Arthrographie, Knochenszinthigraphie und die Untersuchung am Bildwandler (105).

Ein praktikables Konzept für die diagnostische Routine sowie zur Lösung spezieller Probleme zu liefern sollte Ergebnis unserer Bemühungen sein. Dazu ist die Arbeit in mehrere Hauptteile gegliedert:

I) Bandstrukturen

- II) Technik:
- Verstärkerfolien, Filme
 - Aufnahmeverfahren
 - Funktionsdiagnostik durch gehaltene Aufnahmen

- III) Verletzungen:
- Frakturen mit Projektionen zur Darstellung
 - Luxationsverletzungen
 - Instabilitäten bei Bandläsionen

I. Bandstrukturen

Bislang existierten oft uneinheitliche und unzureichende Vorstellungen über die Bandstrukturen am Handgelenk. Dies liegt zum Einen ander intrakapsulären Lage der Bänder. Sie lassen sich als Bestandteil der Kapsel nur schwer isoliert präparieren. Zum Anderen war das Interesse an diesen Bandstrukturen auch von klinischer Seite nicht besonders groß. Wir haben versucht an eigenen Präparationen klare Vorstellungen über Verlauf und Funktion dieser Bandstrukturen zu erarbeiten.

Das Radius-Capitatum-Band (RC-Band) und das volare Radius-Triquetrum-Band (vRT-Band) sind die kräftigsten Bänder des Handgelenks und schützen bei Hyperextensionstraumen. Zusammen mit dem dorsalen Radius-Triquetrum-Band (dRT-Band) bilden sie den Anker des Handgelenks. Traumatisch verletzen diese Bänder in der Regel nur bei komplexen Luxationsverletzungen. Die Rheumatoide Arthritis kann diese Bänder arrodieren, wodurch es zu einer ulnaren Translokation des Carpus kommen kann.

Das Radius-Scaphoid-Lunatum-Band (RSL-Band), das von der volaren Radiuskante breit in das interossäre Band zwischen Os scaphoideum und Os lunatum einstrahlt, ist wichtiger Kontrollzügel der proximalen Handwurzelreihe. Bei einer Ruptur des interossären Bandes zwischen Os scaphoideum und Os lunatum ist die Stelle des Abrisses dieses Bandes dafür verantwortlich, ob es zu einer dorsalen Subluxation und Rotation des Os scaphoideum (RSS) oder zu einer Dorsalrotation des Os lunatum (ZDI) kommt.

Die klinische Wertigkeit der Bandschwäche im Bereich des Scaphoid-Trapezium-Trapezoideum Gelenks, die wir als Längssubluxation des öfteren bei gehaltenen Aufnahmen in Ulnarabduktion nachweisen konnten, ist noch nicht eindeutig geklärt. Möglicherweise führt sie zu einer sich erst in höherem Alter manifestierenden STT-Arthrose.

II. Technik

Früher wurden Röntgenfilme direkt durch Röntgenstrahlung geschwärzt. Die Bestrebungen zur Reduzierung der Strahlenbelastung führten zur Entwicklung von Verstärkerfolien. Gewöhnlich wird eine Calcium-Wolframat Beschichtung gewählt; die Verstärkerfolien liegen dem Film in der Regel beidseitig, also an Vorder- und Rückseite, an. Die Filmschwärzung geschieht vorwiegend durch den entstehenden Lichtblitz (Aufleuchten) beim Auftreffen der Röntgenstrahlung auf die Folie. Dabei schwärzt ein einzelner Folienpunkt auch eine gewisse Umgebung des ihm anliegenden Filmpunkts. Diese Unschärfe nimmt mit dem Verstärkungsfaktor, als der Schichtdicke der Verstärkungsfolie zu. Zum Anderen kommt es im Abbildungssystem Röntgenröhre-Objekt-Film durch die Zweidimensionalität des Röhrenbrennflecks zu einer Unschärfe der Abbildung. Dies sind die Hauptursachen der Inneren Unschärfe der heute verwendeten Systeme. Bei der Verwendung folienloser Filme ist die Innere Unschärfe durch den Wegfall jeglicher Foliestreuung auf ein Minimum reduziert. Die von uns verwendete Kombination mit einer dem Film nur einseitig (an der Rückseite) anliegenden, schwach verstärkenden Seltene-Erden-Folie (SE 1, Fa. Cawo) stellt einen Kompromiß dar zwischen folienlosem Film und beidseitiger Calcium-Wolframat-Folie (Universalfolie). Eine Seltene-Erden-Folie weist eine höhere Röntgenabsorption auf und ist daher bei gleicher Verstärkung dünner als eine entsprechende Calcium-Wolframat-Folie. Die innere Unschärfe läßt sich so auf ein Minimum reduzieren und dennoch wird in der Belichtung gegenüber einem folienlosen Film ca. 85% an Strahlendosis gespart. Wir halten aus diesen Gründen eine Film-Folien-Kombination mit einer dem Film nur einseitig anliegenden SE 1 Folie für den besten Kompromiß für die Röntgendiagnostik peripherer Extremitätenabschnitte (hier: Handgelenk). Es wird bei guter Bildqualität mit hoher Detailauflösung eine immernoch sehr geringe Strahlenbelastung verwirklicht (vgl. Dosismessungen Kap. 3.3.1.)

Erfordert die Entscheidung einer speziellen Fragestellung zusätzliche Information ist die Anfertigung einer Aufnahme mit folienlosem Film (z.B. Definix, Fa. Kodak) indiziert. Sie ist auf Grund ihrer grös-

seren diagnostischen Aussagekraft einer Vergrößerungsaufnahme vorzuziehen (39). Bei manchen Fargstellungen (entzündliche Veränderungen, Frakturdiagnostik) kann sie der hypozykloidalen Tomographie ebenbürtig werden. Ein wichtiger Faktor ist dabei die Praktikabilität des Verfahrens.

In der Regel wird jedoch die hypozykloidale Tomographie die aussagekräftigste Untersuchungsmethode für den Bereich des Handgelenks sein. Es ist aber auch die aufwendigste und mit der höchsten Strahlenbelastung verbundene röntgenologische Untersuchung. Die Indikation wird daher in jedem Fall streng zu stellen sein.

Bei der Xeroradiographie steht der technisch-apparative Aufwand in keinem Verhältnis zum Nutzen in der Extremitätdiagnostik. Zwar ist die Aussagekraft einer solchen Untersuchung speziell in der Darstellung der Knochenbälkchenstruktur hoch, dabei ist die Strahlenbelastung hoch und die Verfügbarkeit der Methode durch Ausfälle des Entwicklungssystems nur bedingt. Sie erfährt praktisch keine Anwendung mehr.

Eine Aufnahme mit folienlosen Film bedeutet für den Patienten eine ca. 6,5 mal höhere Strahlenbelastung als eine Standardaufnahme des Handgelenks mit einseitiger SE 1 Folie. Für eine Tomographie mit hypozykloidalen Verwischung und 6 Schichten (ohne Probeschicht) ist die Strahlenbelastung zumindest 28 mal höher als für eine Standardaufnahme, also so hoch, wie für ca. 4 Aufnahmen mit einem folienlosen Film.

Gehaltene Aufnahmen des Handgelenks fertigen wir aus Gründen der Standardisierung mit einem Halteapparat an. Der Anpressdruck beträgt dabei jeweils 6 kp. Mit entsprechenden Einschränkungen können solche Aufnahmen jedoch auch von Hand eingestellt und gehalten werden. In jedem Fall ist dabei eine Verkipfung in der Einstellung zu vermeiden.

Bei negativer konventioneller Diagnostik nach Trauma ermöglichen gehaltene Aufnahmen in manchen Fällen trotzdem eine Fraktur nachzu-

weisen beziehungsweise mit einem höheren Maß an Sicherheit auszu-schließen. Hierzugehört in erster Linie die Scaphoidfraktur, aber auch Frakturen des Os triquetrum, Os hamatum und der dorsalen Radius-gelenkklippe.

Darüberhinaus dienen gehaltene Aufnahmen zur Feststellung von Insta-bilitäten bei primärer oder sekundärer Bandverletzung. In der Begut-achtung von Zuständen nach Trauma oder entzündlichen Erkrankungen etc. ermöglichen gehaltene Aufnahmen die Objektivierung des verblie-benen Bewegungsumfanges oder die Aufdeckung einer fakultativen Sub-luxationsstellung. Wir ziehen in der Diagnostik von Bandverletzungen primär die gehaltenen Aufnahmen der Arthrographie vor, auch wenn diese z.B. in der Darstellung von Verletzungen im Bereich des Discus Articularis hilfreich ist (44,45). Aber sie hat einige Nachteile: Die Arthrographie ist eine invasive Untersuchungsmethode mit oft eingeschränkter Aussage, da im Bereich des Handgelenkraumes eine Vielzahl an Variationen der Gelenkrecessus angetroffen werden (137) und daher ganz allgemein schwer beurteilbar ist im Hinblick auf einen pathologischen Befund. Zum anderen ist sie relativ zeitaufwendig.

III. Verletzungen

Frakturen, Projektionen

Die Scaphoidpseudarthrose ist eine gefürchtete Folge einer übersehenen Scaphoidfraktur. Bei klinischem Verdacht (Druckschmerz in der Tabatière, Hyperextensionstrauma, jugendlicher Erwachsener) sollte daher jede diagnostische Möglichkeit ausgeschöpft werden. Dazu gehört in jedem Fall eine Scaphoidserie (vier Aufnahmen in Ulnarabduktion und Faustschluß (Dorsalextension) in den Projektionen p-a, 10° Pronation, 45° Supination, seitlich). Ist der Verdacht begründet zusätzlich Aufnahmen mit folienlosem Mammographiefilm oder Schichtaufnahmen. Bei negativer konventioneller Diagnostik ist eine gehaltene Aufnahme in Ulnarabduktion indiziert. Wir konnten durch gehaltene Aufnahmen in Ulnarabduktion in einem Jahr zusätzlich 7 Scaphoidfrakturen diagnostizieren.

Die hyperpronierte Aufnahme mit nach vorne gebeugtem Oberkörper ist eine hilfreiche Projektion für Abklärungen im Bereich des Daumensattelgelenks, des Os trapezium, des STT-Gelenks oder des distalen Os scaphoideum und wird sicherlich zu selten verlangt.

Durch die Carpaltunnelaufnahme können Frakturen am volaren Handgelenk dargestellt werden. Hierzu zählen Frakturen des Os pisiforme (oft mit Gelenkbeteiligung), des Hamulus des Os hamatum sowie Frakturen des volaren Tuberkulums des Os trapezium bzw. des Os scaphoideum. Seit wir bei entsprechender Klinik Carpaltunnelaufnahmen anfertigen konnten wir in 6 Monaten vier Os pisiforme Frakturen nachweisen. Im Vergleich dazu fanden wir in den Jahren 1978-1981 insgesamt nur vier Pisiforme-Frakturen. Diese Frakturen kommen auch bei einer Schichtuntersuchung in der Regel nicht zur Darstellung.

Durch gehaltene Aufnahmen können darüberhinaus in manchen Fällen trotz negativer konventioneller Diagnostik folgende Frakturen nachgewiesen werden: Dorsale Ausrisse am Os triquetrum, Abriß des lateralen Tuberkulums des Os hamatum, Ausrisse der dorsalen Radiuskante.

Luxationen

Komplexe Luxationsverletzungen sind selten. Daher werden sie auch heute noch in der primären Diagnostik oft übersehen. Entscheidendes diagnostisches Kriterium ist die Stellung im Gelenk von Os lunatum und Os capitatum in der korrekt eingestellten seitlichen Aufnahme. Die p-a Projektion gibt nur Hinweise auf eine komplexe Luxationsverletzung; hier ist auf jede ungewohnte Überschneidung der Handwurzelknochen zu achten. Hilfreich ist in jedem Fall der Seitenvergleich durch entsprechende Aufnahmen.

Komplexe Luxationsverletzungen müssen auf Grund der weitreichenden ligamentären Verletzungen exakt reponiert werden, gegebenenfalls operativ mit primärer Bandnaht. Bei perilunären, Lunatumluxationen sind neben anderen die zwei kräftigsten Bandstrukturen des Handgelenks, das Radius-Capitatum-Band (RC-Band) und das volare Radius-Triquetrum-Band (vRT-Band) zerrissen. Sekundäre Instabilitäten nach komplexen Luxationsverletzungen sind häufig und sollten rechtzeitig erkannt werden. Hier ist besonders auf eine Rotationssubluxation des Os scaphoideum (RSS) zu achten.

Besteht bei einer Os capitatum Fraktur zusätzlich eine knöcherne Verletzung am Os scaphoideum handelt es sich vom Verletzungsmechanismus wahrscheinlich um eine sich spontan reponierte komplexe Luxationsverletzung mit entsprechend ausgedehnten Bänderzerreißen.

Instabilitäten

Die Rotationssubluxation des Os scaphoideum (RSS) ist bis heute wenig beachtet. Diagnostisches Leitkriterium ist die scapho-lunäre Dissoziation (S-L-Dissotiation) durch Ruptur des interossären Bandes zwischen Os scaphoideum und Os lunatum. Diese Dissotiation, auf Übersichtsaufnahmen oft nur angedeutet durch eine Inkongruenz der Gelenkflächen von Os scaphoideum und Os lunatum zueinander, ist nachweisbar durch gehaltene Aufnahmen in Ulnar- bzw. Radialabduktion. Als primäre oder sekundäre Traumafolge führt die RSS zu Funk-

tionseinbußen des Handgelenks. Nicht selten ist sie Ursache für ein Carpal-tunnelsyndrom. Die operativen Ergebnisse bei RSS müssen jedoch noch zurückhaltend beurteilt werden.

Die zentrale dorsale Instabilität (ZDI) sowie die zentrale volare Instabilität (ZVI) haben besonders in der Begutachtung von Residualzuständen ihre Bedeutung. Diese Fehlstellungen führen z.B. bei Z.n. distaler Radiusfraktur oder bei chronischer Polyarthrits über Bewegungseinschränkungen im Handgelenk zu Behinderungen. Gehaltene Aufnahmen des Handgelenks helfen nicht nur in der Diagnostik dieser Instabilitäten, sondern auch bei der Objektivierung von Bewegungseinschränkungen.

IV. Procedere in der Röntgendiagnostik des Handgelenks

Ziel sollte die Diagnosestellung beim Erstbesuch sein. Bestehen diagnostische Unsicherheiten kann in Ausnahmefällen bei einstweiliger Ruhigstellung nach 5-7 Tagen eine Kontrolle stattfinden. Unter diesen Gesichtspunkten halten wir zur Abklärung traumatischer Beschwerden im Bereich des Handgelenks folgendes Vorgehen für am geeignetsten:

1. Röntgenroutine des Handgelenks (einseitige SE 1 Folie):

posterior-anteriore und seitliche Aufnahme

bei negativem Befund aber weiterbestehendem klinischen Verdacht:

2. Schräge Projektionen:

45° pronation; 45° Supination (ausgehend von seitlicher Position)
bzw.

Scaphoid-Quartett (nach klinischen Beschwerden)

bei negativem Befund aber weiterbestehendem klinischen Verdacht:

3. Mammographiefilm-Aufnahme (Definix^R)

oder

Tomographie: 6 Schichten p-a, Schichtabstand 4 mm, hypozykloida-
le Verwischung

bei negativem Befund aber weiterbestehendem klinischen Verdacht:

4. Quintett der gehaltenen Aufnahmen

- a) Carpaltunnelaufnahme
- b) gehalten in Flexionsstellung
- c) gehalten in Extensionsstellung
- d) gehalten in Ulnarabduktion
- e) gehalten in Radialabduktion

Dieses Schema soll einen allgemeinen Vorschlag darstellen. Der Gang der Untersuchung wird sich hieran orientieren, aber an die jeweilige Fragestellung entsprechend anzupassen sein.

Zusammenfassung

Zielsetzung war die Bearbeitung von unterschiedlichen Aspekten im Hinblick auf eine Verbesserung der Röntgendiagnostik im Bereich des Handgelenkes. So gliedert sich die Arbeit in mehrere, voneinander losgelöste Bereiche.

Anatomische Studien über die Bandstrukturen des Handgelenkes standen am Anfang der vorliegenden Arbeit. Eigene Präparationen halfen bei der Erarbeitung einer genauen Vorstellung über die Ligamente im Bereich der Handwurzel. Eine Systematik der Bandstrukturen am Handgelenk wurde vorgelegt. In einem technischen Teil wurden die röntgendiagnostischen Möglichkeiten experimentell untersucht. Bei einem Vergleich der Film-Folien-Kombination wurde die hohe Wertigkeit der SE-Folien-Film Kombination, sowie die Möglichkeiten von Aufnahmen mit folienlosen Mammographie-Filmen hervorgehoben.

Beim Vergleich der methodisch unterschiedlichen Aufnahmeverfahren wurde der hohe Stellenwert der hypozykloidalen Tomographie gezeigt. In einer statistischen Erhebung wurde retrospektiv die Häufigkeit von Frakturen einzelner Handwurzelknochen im Patientengut der Chirurgischen Universitätsklinik München Innenstadt für den Zeitraum 1978-1981 ermittelt.

Unsere Ergebnisse sind denen anderer Publikationen gegenübergestellt. Es schließt sich eine differenziertere Aufstellung der typischen Frakturen der Handwurzelknochen an. Außerdem sind die zur Abbildung der Handwurzelknochen zusätzlich möglichen Röntgenprojektionen dargestellt und diskutiert. Die komplexen Luxationsverletzungen sowie die als Instabilitäten bezeichneten Subluxationsstellungen im Bereich der Handwurzel sind beschrieben und systematisiert. Nach einem Überblick über Luxationen und aseptische Knochennekrose einzelner Handwurzelknochen folgte die Vorstellung eines Konzeptes für ein Procedere in der routinemäßigen Röntgendiagnostik eines Handgelenktraumas.

Ein wichtiger Teil der Arbeit war die Vorstellung einer Methode zur standardisierten Funktionsdiagnostik des Handgelenkes durch gehaltene Aufnahmen. Auch wurden die Möglichkeiten und Ergebnisse einer erweiterten Frakturdiagnostik durch gehaltene Aufnahmen aufgezeigt. Schließlich wurde eine Methode zur standardisierten Anfertigung von Carpaltunnelaufnahmen vorgestellt.

Literatur

1. Adler J.B., Shafton G.W.: Fractures of the Capitate
J. Bone Joint Surg. 44-A: 1537-1547 (1962)
2. Aitken A.P., Nalebuff E.A.: Volar transnavicular perilunar Dislocation of the Carpus
J. Bone Joint Surg. 42-A: 1051-1057
3. Althaus R.J.: Die isolierte Trapeziumfraktur - ein seltenes Ereignis -
Unfallheilkunde 84: 65-68 (1981)
4. Andress M.R., Peckar V.G.: Fracture of the Hook of the Hamate
British J. Radiol. 43: 141-143 (1970)
5. Arkless R.: Rheumatoid Wrists: Cineradiography
Radiology 88: 543-549 (1967)
6. Arkless R.: Cineradiography in normal and abnormal Wrists
AJR 96: 837-844 (1966)
7. Bartone N.F., Grieco R.V.: Fractures of the Triquetrum
J. Bone Joint Surg. 38-A: 353-356 (1956)
8. Beckenbaugh R.D., Shives T.C., Dobyns J.H., Lindscheid R.L.:
Kienböck's Disease Clin. Orthop. 149: 98-106 (1980)
9. Bilos J., Pankovich A.M., Yelda S.: Fracture-Dislocation of the
Radiocarpal Joint
J. Bone Joint Surg. 59-A 198-203 (1977)
10. Böhler L.: Technik der Knochenbruchbehandlung
12. u. 13. Aufl. Wien, Maudrich 1953-1957
Ergänzungsband 1963
11. Bollen R., Van Hauthem R.: Perceptibility of Details on a Medichrome-Film
J. Belge Radiol. 63: 175-177 (1980)

12. Bonnin J.G., Greening W.P.: Fractures of the Triquetrum
British J. Surg. 31: 278-283 (1944)
13. Boyes J.H.: Bunnells Surgery of the Hand
J.B. Lippincott Company Philadelphia Toronto 5. Ed.
14. Borgeskov S., Christiansen B., Kjaer A., Balslev J.:
Fractures of the carpal Bones
Acta Orthop. Scand. 37: 276-287 (1966)
15. Bridgman C.F.: Radiography of the Carpal Navicular Bone Medical
Radiography and Photography 25/4 (1949) 104-105
16. Bryan R.S., Dobyns J.H.: Fractures of the carpal Bones other than
Lunate and Navicular
Clin. Orthop. 149: 107-111 (1980)
17. Burman M.S., Sinberg S.E., Gersh W., Schmier A.A.:
Fractures of the radial and ulnar Axes
AJR 51: 455-480 (1944)
18. Burman M.: Anteroposterior projektion of the carpometacarpal joint
of the thumb by radial shift of the carpal tunnel view
J. Bone Joint Surg. 40-A: 1156-1157 (1958)
19. Cameron H.U., Hastings D.E., Fournasier V.L.: Fracture of the Hook
of the Hamate
J. Bone Joint Surg. 57-A: 276, 277 (1975)
20. Cambell R.D., Thompson T.C., Lance E.M., Adler J.B.:
Indications for open reduction of lunate and perilunate dislocation
of the carpal bones
J. Bone Joint Surg. 47-A: 915-937 (1965)
21. Cambell R.D., Lance E.M., Yeoh C.B.: Lunate and perilunate dislocations
J. Bone Joint Surg. 46-B.:
55-73 (1964)

22. Carter P.R., Eaton R.G., Littler J.W.: United Fracture of the Hook of the Hamate
J. Bone Joint Surg. 59-A: 583-588 (1977)
23. Cave E.F.: Fractures and other Injuries
Chicago: The Year Book Publishers (1958)
24. Clark K.C.: Positioning in Radiography 8th Ed. New York,
Grune and Stratton (1964)
25. Clayton M.L.: Rupture of the Flexor Tendons in Carpal Tunnel (Non-Rheumatoid) with Specific Reference to Fracture of the Hook of the Hamate
J. Bone Joint Surg. 51-A: 798, 799 (1969)
26. Cooney W.P., Dobyns J.H., Lindscheid R.L.: Fractures of the Scaphoid
Clin. Orthop. 149: 90-97 (1980)
27. Cooney W.P., Dobyns J.H., Lindscheid R.L.:
Nonunion of the Scaphoid
The Journal of Handsurgery 5 (1980) 343-354
28. Cordrey L.J., Ferrer-Torells M.: Management of Fractures of the greater Multangular
J. Bone Joint Surg. 42-A: 1111-1118 (1960)
29. Crosby E.B., Lindscheid R.L.: Rupture of the Flexor Profundus Tendon of the ring finger secondary to ancient fracture of the Hook of the Hamate
J. Bone Joint Surg. 56-A: 1076-1078 (1974)
30. Denman E.E.: The Volar Carpal Ligament
The Hand 11: 22-27 (1979)
31. De Smet A.A., Martin N.L., Fritz S.L., Lindsley H.B.:
Radiographic Projections for the Diagnosis of Arthritis of the Hand and Wrist
Radiology 139: 577-581 (1981)

32. Dunn A.W.: Fractures and Dislocations of the Carpus
Surg. Clin. North America 52: 1513-1538 (1972)
33. Ehalt W.: Unfallchirurgie im Röntgenbilde
Verlag Wilhelm Maudrich/Wien (1950)
34. Fenton R.L.: The Naviculo-Capitate Fracture Syndrome
J. Bone Joint Surg. 38-A: 681-684 (1956)
35. Fischer E.: Low Kilovolt Radiography aus: Diagnosis of
Bone and Joint Disorders Resnick, Niwayama
36. Fisk G.R.: Carpal instability and the fractures scaphoid
Ann. R. Coll. Surg. Engl. 46: 63-76 (1970)
37. Fisk G.R.: An Overview of Injuries of the Wrist
Clin. Orthop. 149: 137-144 (1980)
38. Fodor J., Malott J.C.: Radiography of the carpal navicular
Radiologic Technology 52: 175-180 (1980)
39. Franken Th., Fischer P., Distelmaier W., Grauthoff H.-J.:
Die direkte röntgenologische Vergrößerung - ein Konkurrenzver-
fahren zu Kontaktaufnahmen peripherer Extremitätenabschnitte?
Röntgenpraxis 35 (1982) 321-328
40. Freyschmidt J.: Fehlermöglichkeiten in der radiologischen Diagnostik
des Skeletts
Röntgen-Blätter 35 (1982) 309-322
41. Fröhling D.K., Löhnert J., Makoski H.B., Löhr E.:
Beitrag zu Brüchen des Handwurzelskeletts
Röfo 117: 658-663 (1972)
42. Frommhold W., Gajewski H., Schoen D.: Medizinische Röntgentechnik
Band I Physikalische und technische Grundlagen
Gajewski H., Müller D., Schmidt Th., Georg Thieme
Verlag Stuttgart 1979

43. Gatterer R., Vescei V.: Seltene Frakturen im Bereich der Handwurzel Unfallheilkunde 84: 463-468 (1981)
44. Gay B.: Distorsion der Handwurzel Der Chirurg 52: 293-296 (1981)
45. Geisel H., Spritzendorfer E.: Der Riß des Diskus articularis als Ursache des posttraumatischen Schmerzes des Handgelenkes Unfallheilkunde 84: 55-59 (1981)
46. Gentaz R., Lespargot J., Levame J.H., Poli J.P.: La maladie de Kienböck Approche tomographique La Nouvelle Presse medicale 29: 1207-1210 (1972)
47. Gerard F.M.: Posttraumatic carpal instability in a young child J. Bone Joint Surg. 62-A: 131-133 (1980)
48. Ghormley R.K., Mroz R.J.: Fractures of the Wrist Surgery, Gynecology and Obstetrics 55: 377-381 (1932)
49. Gilford W.W., Bolton r.h., Lambrinudi C.: The mechanism of the wrist joint with special reference to fractures of the scaphoid Guy's Hosp. Rep. 92 (1943) 52
50. Gilula L.A.: Carpal injuries: analytic approach an case exercises AJR 133: 503-517 (1979)
51. Gilula L.A., Weekes P.M.: Posttraumatic Ligamentous Instabilities of the Wrist Radiology 129: 641-651 (1978)
52. Grashey-Birker: Atlas typischer Röntgenbilder vom normalen Menschen 10. Aufl. Urban & Schwarzenberg München Berlin (1964)
53. Green D.P., O'Brien E.T.: Classification and Management of Carpal Dislocations Clin. Orthop. 149: 55-72 (1980)
54. Green E.I., Miller L.F.: Isolated Fractures of Os Magnum and Trapezium J. Bone Joint Surg. 15: 775-778 (1933)

55. Hart V.L., Gaynor V.: Röntgenographic study of the carpal canal
J. Bone Joint Surg. 23: 382, 383 (1941)
56. Hart V.L.: Two unusual Injuries of the Wrist
J. Bone Joint Surg. 23: 948, 949 (1941)
57. Hartwig R.H., Louis D.S., Arbor A.: Multiple carpometacarpal
dislocations
J. Bone Joint Surg. 61-A: 906-908 (1979)
58. Heckrodt J.: Steigerung der diagnostischen Information über Ver-
letzungen der Handwurzelknochen und ihre Folgen mit Hilfe mehr-
dimensionaler Tomographie
Der Radiologe 9: 317-329 (1969)
59. Hönigschmied J.: Leichenexperimente über die Zerreißungen der Bänder
im Handgelenk
Deutsche Zeitschrift für Chirurgie 10: 462-478 (1878)
60. Howard F.M.: Ulnar-Nerve Palsy in Wrist Fractures
J. Bone Joint Surg. 43-A: 1197-1201 (1961)
61. Hulten O.: Über anatomische Variationen der Handgelenkssknochen
Acta Radiologica 9: 155-172 (1928)
62. Jacobs L.G.: Isolated fracture of the pisiform bone Radiology 50:
529-531 (1948)
63. Jacobsen E.: Zur röntgenologischen Diagnostik von Kahnbeinbrüchen
der Hand Zbl. Chir. 9: 495-500 (1933)
64. Janker R.: Das Röntgenschnittverfahren
Zbl. Chir. 14: 826-861 (1937)
65. Johnson R.P.: The Acutely Injured Wrist and its Residuals
Clin. Orthop. 149: 33-43 (1980)
66. Jones G.B.: An Unusual Fracture-Dislocation of the Carpus
J. Bone Joint Surg. 37-B: 146, 147 (1955)

67. Kapandji A., Moatti E., Raab C.: La Radiographie Spécifique de L'Articulation Trapèzio-Metacarpienne Annales de Chirurgie (Paris) 34: 719-726 (1980)
68. Kauer J.M.G.: Funcional Anatomy of the Wrist
Clin. Orthop. 149: 9-20 (1980)
69. Köhler A., Zimmer E.A.: Grenzen des Normalen und Anfänge des Pathologischen im Röntgenbild des Skeletts
11. Aufl. Thime Stuttgart (1967)
70. Kuner E.H., Schlickewei W.: Luxationen im Handwurzelbereich
Der Chirurg 52: 301-305 (1981)
71. Lang F.: Neue experimentelle Untersuchungen zu Fragen der Lunatummalazie
Zeitschrift für Unfallmedizin und Berufskrankheiten 37 (1944) 23-44
72. Lasserre Ch., Pauzat D., Derennes R.: Osteoarthritis of the Trapezio-Metacarpal Joint
J. Bone Joint Surg. 31-B: 534-536 (1949)
73. Laubenberger Th.: Leitfaden der medizinischen Röntgentechnik
Deutscher Ärzte-Verlag GmbH 1980
74. Lentino W., Lubetsky H.W., Jacobson H.G., Poppel M.H.:
The Carpal bridge view
J. Bone Joint Surg. 39-A: 88-90 (1957)
75. Lewis R.W.: Non-routine views in roentgen examination of the extremities
Surg. Gynecol. Obstet. 67: 38-45 (1938)
76. Lewis R.L.: Oblique views in roentgenography of the wrist
AJR 50: 119-121 (1943)
77. Lewis O.J.; Hamshere R.J., Bucknill T.M.: The anatomy of the wrist joint
J. Anat. 106: 539-552 (1970)

78. Lindgren E.: Some Radiological Aspects on the Carpal Scaphoid and its Fractures
Acta Chir. Scan. 98: 538-548 (1949)
79. Lindscheid R.L., Dobyns J.H., Beabout J.W., Bryan R.S.:
Traumatic Instability of the Wrist
J. Bone Joint Surg. 54-A: 1612-1632 (1972)
80. Mark L.K.: Fractures of the Triquetrum
AJR 83: 676-679 (1960)
81. Marsh A.P., Lampros P.J.: The Naviculo-Capitate Fracture Syndrome
AJR 82: 255-256 (1959)
82. Mayfield J.K., Johnson R.P., Kilcoyne R.F.: The Ligaments of the Human Wrist and Their Functional Significance
Anat. Rec. 186: 417-428 (1976)
83. Mayfield J.K., Johnson R.P., Kilcoyne R.F.: Carpal dislocations: Pathomechanics and progressive perilunar instability
J. Handsurg. 5: 226-241 (1980)
84. Mayfield J.K.: Mechanism of Carpal Injuries
Clin. Orthop. 149: 45-54 (1980)
85. McAusland W.R.: Perilunar Dislocation of the Carpal Bones and Dislocation of the Lunate Bone Surgery, Gynecology and Obstetrics 79: 256-266 (1944)
86. McClain E.J., Boyes J.H.: Missed Fractures of the Greater Multangular
J. Bone Joint Surg. 48-A: 1525-1528 (1966)
87. McCue F.C., Baugher W.H., Kulund D.N., Gieck J.H.:
Hand and wrist injuries in the athlete
Am. J. Sports Medicine 7: 275-286 (1979)

88. Merrill V.: Atlas of Röntgenographic Positions Vol. 1 3rd. Ed.
St. Louis, CV Mosby Co., (1967)
89. Meschan I.: Anatomy Basic to Radiology Vol. 1 (1975)
90. Meschan I.: Synopsis of Röntgen Signs
W.B. Saunders Company Philadelphia London (1966)
91. Meyers M.H., Wells R., Harvey J.P.: Naviculo-Capitate
Fracture Syndrome
J. Bone Joint Surg. 53-A: 1383 - 1386 (1971)
92. Meyrueis J.P., Cameli M., Jan P.: Instabilité du carpe.
Diagnostic et formes cliniques
Ann. chir. 32: 555-560 (1978)
93. Milch H.: Fracture of the hamate bone
J. Bone Joint Surg. 16: 459-462 (1934)
94. Morowa L.G., Ross P.M., Schock C.C.: Fractures and dislocations
involving the navicular lunate axis
Clin. Orthop. 118: 48-53 (1976)
95. Mullan G.B., Lloyd G.J.: Complete Carpal Disruption of the Hand
The Hand 12: 39-43 (1980)
96. Newman J.H., Watt I.: Avascular Necrosis of the Capitate and dorsal
Dorsi-Flexion Instability
The Hand 12: 176-178 (1980)
97. Nigst H.: Frische Frakturen, Luxationen und Luxationsfrakturen der
Karpalknochen
Z. Unfallmed. Berufskr. 67: 35-50 (1974)
98. Nigst H.: Frakturen, Luxationen und Dissoziationen der Karpalknochen
Bibliothek für Handchirurgie
Hippokrates Verlag Stuttgart 1982

99. Nisenfeld F.G., Neviaser R.J.: Fracture of the hook of the hamate:
A diagnosis easily missed
J. Trauma 14: 612-616 (1974)
100. Palmer A.K., Dobyns J.H., Lindscheid R.L.: Management of post-traumatic
instability of the wrist secondary to ligament rupture
J. Handsurg. 3: 507-532 (1978)
101. Perschl A.: Zur röntgenologischen Diagnostik der frischen
Kahnbeinbrüche der Hand
Röntgenpraxis 10: 11-16 (1936)
102. Perschl A.: Behandlung und Behandlungsergebnisse perilunärer dorsaler
Verrenkungen und der Verrenkung des Mondbeins nach volar
Ergebnisse der Chirurgie und Orthopädie 35: 437-517 (1949)
103. Poigenfürst J.: Die Brüche des Multangulum maius
Chir. Praxis 4: 409-420 (1959)
104. Poppe H., Lohstötter I., Lauwers Ph.: Technik der Röntgendiagnostik
Thieme Verlag Stuttgart (1972)
105. Protas J.M., Jackson W.T.: Evaluating Carpal Instabilities with
Fluoroscopy
AJR 135: 137-140 (1980)
106. Resnick D., Miwayama G.: Diagnosis of Bone and Joint Disorders
Bd. I-III W.B. Saunders Company Philadelphia London Toronto (1981)
Resnick D.: Plain Film Radiography aus: (106) 254-312
Resnick D.: Arthrography, Tenography and Bursography aus (106) 510-615
Resnick D., Niwayama G.: Anatomy of Individual Joints aus: (106) 44-171
Resnick D., Niwayama G.: Physikal Injury aus: (106) 2240-2326

107. Rochlin D.G., Zeitler E.: Röntgendiagnostik der Hand und Handwurzel
aus: Handbuch der medizinischen Radiologie Band IV Teil 2
Springer-Verlag Berlin - Heidelberg - New York (1968)
108. Russe O.: Fracture of the Carpal Navicular
J. Bone Joint Surg. 42-A 759-768 (1960)
109. Russel T.B.: Inter-Carpal Dislocations and Fracture-Dislocations
J. Bone Joint Surg. 31-B: 524-531 (1949)
110. Ruzicka F.F., Heublein G.W.: Röntgen Evaluation of Lesions of the
Carpus
AJR 58: 148-165 (1947)
111. Sabato S., Porat S.: Radial transscaphoid perilunate dislocation
J. Trauma 21: 330, 331 (1981)
112. Sarrafin S.K., Melamed J.L., Goshgarian G.M.:
Study of Wrist Motion in Flexion and Extension
Clin. Orthop. 126: 153-159 (1977)
113. Schertl L., Puppe D., Schnepfer E., Witt H., zum Winkel K.:
Atlas der Xeroradiographie
Verlag Urban & Schwarzenberg München - Berlin - Wien 1976
114. Schnek F.: Die Verletzungen der Handwurzel
Ergebn. d. Chir. u. Orthop. 23: 1-109 (1930)
115. Schoch V.: Beiträge zur Kenntnisse der typischen Luxationsfraktur
des Intercarpalgelenkes
Deutsche Zeitschrift für Chir. 91: 53-142 (1907)
116. Schoen: Medizinische Röntgentechnik
Thieme Verlag Stuttgart (1956)

117. Shea J.D., McClain E.J.: Ulnar-Nerve Compression Syndromes alt
and below the Wrist
J. Bone Joint Surg. 51-A: 1095-1103
118. Smathers R.L.: The Destruktive Wrist Arthropathy of Pseudogout
Skelettal Radiol 7 (1982) 255-258
119. Snodgrass L.E.: Fractures of the Carpal Bones
Am. J. Surg. 38: 539-548 (1937)
120. Stark H.H., Jobe F.W., Boyes J.H., Ashworth C.R.:
Frakture of the Hook of the Hamate in Athletes
J. Bone Joint Surg. 59-A: 575-582 (1977)
121. Stecher W.R.: Roentgenography of the Carpal Navicular Bone
AJR 37: 704, 705 (1937)
122. Stein F., Siegel M.W.: Naviculocapitate Fracture Syndrome
A Case Report: New Thoughts on the Mechanism of Injury
J. Bone Joint Surg. 51-A: 391-395 (1969)
123. Stieve F.E.: Apparative Ausrüstung zur mehrdimensionalen Tomographie
Röntgen-Bl. 17: 369-400 (1964)
124. Taleisnik J., Kelly P.J.: The Extracosseous and Intraosseous
Blood Supply of the Scaphoid Bone
J. Bone Joint Surg. 48-A: 1125-1137 (1966)
125. Taleisnik J.: Post-Traumatic Carpal Instability Clin. Orthop. 149:
73-82 (1980)
126. Teichert G.: Die perilunare Dorsalluxation des Handgelenkes
Röntgen-Bl. 7: 88-94 (1954)

127. Thompson T.C., Campbell R.D., Arnold W.D.: Primary and secondary dislocation of the scaphoid bone
J. Bone Joint Surg. 46-B: 73-82 (1964)
128. Trojan E.: Zur Diagnostik des Kahnbeinbruchs der Hand
Chirurgische Praxis 3: 311-324 (1961)
129. Vance P.M., Gelberman R.H., Evans E.F.: Scaphocapitate Fractures
J. Bone Joint Surg. 62-A: 271-276 (1980)
130. Vasilas A., Grieco R.V., Bartone N.F.: Roentgen Aspects of Injuries to the Pisiform Bone and Pisotriquetral Joint
J. Bone Joint Surg. 42-A: 1317-1328 (1960)
131. Vaughan-Jackson O.J.: A Case of recurrent Subluxation of the Carpal Scaphoid
J. Bone Joint Surg. 31-B: 532-533 (1949)
132. Viehweger G.: Beitrag zur Spaltbildung an den Handwurzelknochen
Fortschr. Röntgenst. 84: 376-377 (1956)
133. Volz R.G., Lieb F.A.C.S.M., Benjamin J.: Biomechanics of the Wrist
Clin. Orthop. 149: 112-117 (1980)
134. Wachsmuth W., v.Lanz T.: Praktische Anatomie 1. Bd. 3. Teil
Springer Berlin - Göttingen - Heidelberg 2. Auflage
135. Wagner C.J.: Perilunar Dislocations
J. Bone Joint Surg. 38-A: 1196-1207, 1230 (1956)
136. Waugh R.L., Sullivan R.F.: Anomalies of the Carpus
J. Bone Joint Surg. 32-A: 682-686 (1950)

137. Weber E.R.: Biomechanical Implications of Scaphoid Wais Fractures
Clin. Orthop. 149: 83-89 (1980)
138. Weissmann J.A., Legsdinsch A.J.: Das röntgenologische Bild des Hand-
gelenkinnenraumes Fortschritte d. Röntgenstr. 131, 4 (1979) 428-433
139. Weller S., Holz U.: Frakturen im Handwurzelbereich
Der Chirurg 52: 297-300 (1981)
140. Wentzlik G.: Luxation des Hamatums nach dorsal in der üblichen Technik
und im Tomogramm
Fortschr. Röntgenstr. 78: 428 (1953)
141. Weseley M.S., Barenfeld P.A.: Trans-Scaphoid, Transcapitate, Trans-
triquetral, Perilunate Fracture-Dislocation of the Wrist
J. Bone Joint Surg. 54-A: 1073-1078 (1972)
142. Wilson J.N.: Profiles of the Carpal Canal
J. Bone Joint Surg. 36-A: 127-132 (1954)
143. Wiot J., Dorst J.P.: Less common fractures and dislocations of the Wrist
Radiol. Clinics of North Am. 4: 261-276 (1966)
144. Wirth C.J., Jäger M.: Röntgenologische Diagnostik der Kapselbandläsion
Röntgenpraxis 34: 399-409 (1981)
145. Youm Y., Flatt A.E.: Kinematics of the Wrist
Clin. Orthop. 149: 21-32 (1980)
146. Youm Y., McMurtry R.Y., Flatt A.E., Gillespie T.E.:
Kinematics of the Wrist
J. Bone Joint Surg. 60-A: 423-431 (1978)

147. Yousefzadeh D.K.: The Value of Traction during Roentgenography of the Wrist and Metacarpophalangeal Joints
Skeletal Radiology 4: 29-33 (1979)
148. Zimmer, Brossy: Lehrbuch der Röntgendiagnostischen Technik
Springer Berlin - Heidelberg - New-York 2. Auflage (1974)
149. Ziter F.M.H.: A Modified View of the Carpal Navicular
Radiology 108: 706, 707 (1973)
150. Dorfmeister M.: Dissertation in Vorbereitung (1985)

Danksagung

Herrn Prof. Dr. K.J. Pfeifer möchte ich herzlich für die Überlassung des Themas und die Betreuung danken. Herrn Dr. R. Mayer danke ich für die vielen Hilfestellungen, seinen Beistand und Rat zu jeder Zeit und die großzügige Mitentscheidungsmöglichkeit bei der Ausgestaltung der Arbeit.

Für die ausführliche Fotographische Dokumentation bin ich Frau Schlöterer sehr dankbar.

Prof. Dr. Lüdinghausen und Prof. Dr. Löweneck vom Anatomischen Institut danke ich für die gute Zusammenarbeit.

Lebenslauf

Axel Stäbler
Dreyerstr. 10
8000 München 21

Am 21.12.1957 in Nürnberg geboren.

Vater: Dipl.Ing. Karl Stäbler,

Mutter: Hildegard Stäbler, geb. Koch

Schulausbildung

1964 - 1968 Grundschule in Kahl am Main und Gundremmingen
1968 - 1971 Leinberger-Gymnasium Landshut
1971 Erasmus-Grasser-Gymnasium München
1972 - 1977 Wagenburg-Gymnasium Stuttgart (Abitur 1977)

Hochschulausbildung

1977 Aufnahme in die Studienstiftung des Deutschen Volkes
1977 - 1978 Beginn des Medizinstudiums an der Universität Stuttgart-Hohenheim
1978 - 1980 Universität Freiburg (Physikum 1979)
1980 - 1984 Ludwig-Maximilians Universität München
 (1. Staatsexamen 1981, 2. Staatsexamen 1983)
1984 Im Frühjahr 3. Staatsexamen.

